Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan
Republik Indonesia
2013

TEKNIK DASAR LISTRIK TELEKOMUNIKASI



2

UNTUK SMK/MAK X



Penulis	**: WIDIHARSO**
Editor Materi	**: HERY SUJENDRO**
Editor Bahasa	**:**
Ilustrasi Sampul	**:**
Desain & Ilustrasi Buku	**:**

Jl. Teluk Mandar, Arjosari Tromol Pos 5, Malang 65102, Telp. (0341) 491239, (0341) 495849, Fax. (0341) 491342, Surel: vedcmalang@vedcmalang.or.id, Laman: www.vedcmalang.com



DISKLAIMER (*DISCLAIMER*)

Penerbit tidak menjamin kebenaran dan keakuratan isi/informasi yang tertulis di dalam buku tek ini. Kebenaran dan keakuratan isi/informasi merupakan tanggung jawab dan wewenang dari penulis.

Penerbit tidak bertanggung jawab dan tidak melayani terhadap semua komentar apapun yang ada didalam buku teks ini. Setiap komentar yang tercantum untuk tujuan perbaikan isi adalah tanggung jawab dari masing-masing penulis.

Setiap kutipan yang ada di dalam buku teks akan dicantumkan sumbernya dan penerbit tidak bertanggung jawab terhadap isi dari kutipan tersebut. Kebenaran keakuratanisi kutipan tetap menjadi tanggung jawab dan hak diberikan pada penulis dan pemilik asli. Penulis bertanggung jawab penuh terhadap setiap perawatan (perbaikan) dalam menyusun informasi dan bahan dalam buku teks ini.

Penerbit tidak bertanggung jawab atas kerugian, kerusakan atau ketidaknyamanan yang disebabkan sebagai akibat dari ketidakjelasan, ketidaktepatan atau kesalahan didalam menyusunmakna kalimat didalam buku teks ini.

Kewenangan Penerbit hanya sebatas memindahkan atau menerbitkan mempublikasi, mencetak, memegang dan memproses data sesuai dengan undang-undang yang berkaitan dengan perlindungan data.

Katalog Dalam Terbitan (KTD)
Teknik Transmisi Telekomunikasi, Edisi Pertama 2013
Kementerian Pendidikan & Kebudayaan
Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik & Tenaga Kependidikan, th. 2013: Jakarta



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas tersusunnya buku teks ini, dengan harapan dapat digunakan sebagai buku teks untuk siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Bidang Studi Keahlian Teknologi Dan Rekayasa, Teknologi Rekayasa.

Penerapan kurikulum 2013 mengacu pada paradigma belajar kurikulum abad 21 menyebabkan terjadinya perubahan, yakni dari pengajaran (*teaching*) menjadi BELAJAR (*learning*), dari pembelajaran yang berpusat kepada guru (*teachers-centered*) menjadi pembelajaran yang berpusat kepada peserta didik (*student-centered*), dari pembelajaran pasif (*pasive learning*) ke cara belajar peserta didik aktif (*active learning-CBSA*) atau *Student Active Learning-SAL*.

Buku teks ″Teknik Listrik Dasar Telekomunikasi″ ini disusun berdasarkan tuntutan paradigma pengajaran dan pembelajaran kurikulum 2013 diselaraskan berdasarkan pendekatan model pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan belajar kurikulum abad 21, yaitu pendekatan model pembelajaran berbasis peningkatan keterampilan proses sains.

Penyajian buku teks untuk Mata Pelajaran ″Teknik Listrik Dasar Telekomunikasi″ ini disusun dengan tujuan agar supaya peserta didik dapat melakukan proses pencarian pengetahuan berkenaan dengan materi pelajaran melalui berbagai aktivitas proses sains sebagaimana dilakukan oleh para ilmuwan dalam melakukan eksperimen ilmiah (penerapan scientifik), dengan demikian peserta didik diarahkan untuk menemukan sendiri berbagai fakta, membangun konsep, dan nilai-nilai baru secara mandiri.

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, dan Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan menyampaikan terima kasih, sekaligus saran kritik demi kesempurnaan buku teks ini dan penghargaan kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam membantu terselesaikannya buku teks siswa untuk Mata Pelajaran Teknik Listrik Dasar Telekomunikasi kelas X/Semester 1 Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).

Jakarta, 12 Desember 2013

Menteri Pendidikan dan Kebudayaan

Prof. Dr. Mohammad Nuh, DEA



DAFTAR ISI







PETA KEDUDUKAN MODUL

BIDANG STUDI KEAHLIAN	: TEKNIK INFORMASI dan KOMUNIKASI
PROGRAM STUDI KEAHLIAN	: TEKNIK TELEKOMUNIKASI
PAKET KEAHLIAN	: 1. TEKNIK TRANSMISI TELEKOMUNIKASI (057)
	2. TEKNIK SUITSING (058)
	3. TEKNIK JARINGAN AKSES (060)

Kelas X

Semester : **Ganjil** / ~~Genap~~

Materi Ajar : Teknik Listrik Telekomunikasi

Sistem Transmisi CPE | Sistem Transmisi Backbone (Radio,Optik,Tembaga) | Sistem Transmisi Satelit | Sistem Management Jaringan | Sistem Multiplex | Sistem Celluler

Kelas XI dan Kelas XII

C3:Teknik Elektronika Komunikasi

Teknik Kerja Bengkel | Teknik Listrik | Teknik Elektronika | Simulasi Digital | Dasar Sistem Telekomunikasi

Kelas X

C2.Dasar Kompetensi Kejuruan

Fisika | Pemrograman Dasar | Sistem komputer

Kelas X, XI

C1. Dasar Bidang Kejuruan

KELOMPOK C (Kejuruan)

Seni Budaya (termasuk muatan lokal) | Prakarya dan Kewirausahaan | Pendidikan Jasmani, Olah Raga dan Kesehatan

Kelas X, XI, XI

KELOMPOK B (WAJIB)



Pendidikan Agama dan Budi Pekerti	Pendidikan Pancasila dan Kewarganegaraan	Bahasa Indonesia	Matematika	Sejarah Indonesia	Bahasa Inggris

Kelas X, XI, XI

KELOMPOK A (WAJIB)



GLOSARIUM:

Atom adalah suatu satuan dasar materi, yang terdiri atas inti atom serta awan elektron yang bermuatan negatif yang mengelilinginya. Inti atom terdiri atas proton yang bermuatan positif, dan neutron yang bermuatan netral (kecuali pada inti atom Hidrogen-1, yang tidak memiliki neutron)

Elektron adalah partikel subatom yang bermuatan negatif dan umumnya ditulis sebagai e^-. Elektron tidak memiliki komponen dasar ataupun substruktur apapun yang diketahui, sehingga ia dipercayai sebagai partikel elementer.

Grafitasi adalah gaya tarik yang dimiliki sebuah benda sebagai contoh gaya tarik bumi adalah grafitasi bumi, grafitasi atom yang mampu menahan elektron tetap pada lintasan sebuah atom

Elemanter adalah partikel dasar partikel yang; partikel lainnya yang lebih besar terbentuk. Contohnya, atom terbentuk dari partikel yang lebih kecil dikenal sebagai elektron, proton, dan netron. Proton dan netron terbentuk dari partikel yang lebih dasar dikenal sebagai quark. Salah satu masalah dasar dalam fisika partikel adalah menemukan elemen paling dasar atau yang disebut partikel dasar, yang membentuk partikel lainnya yang ditemukan dalam alam, dan tidak lagi terbentuk atas partikel yang lebih kecil.

Ion adalah atom atau sekumpulan atom yang bermuatan listrik. Ion bermuatan negatif, yang menangkap satu atau lebih elektron, disebut anion, karena dia tertarik menuju anode. Ion bermuatan positif, yang kehilangan satu atau lebih elektron, disebut kation, karena tertarik ke katode. Proses pembentukan ion disebut ionisasi. Atom atau kelompok atom yang terionisasi ditandai dengan tikatas $^{n+}$ atau $^{n-}$, di mana *n* adalah jumlah elektronyang hilang atau diperoleh.

Isolator listrik adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Dalam bahan isolator valensi elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya. Bahan-bahan ini dipergunakan dalam alat-alat elektronika sebagai isolator, atau penghambat mengalirnya arus listrik. Isolator berguna pula sebagai penopang beban atau pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya arus mengalir ke luar atau atara konduktor. Istilah ini juga dipergunakan untuk menamai alat yang digunakan untuk menyangga kabel transmisi listrik pada tiang listrik.



Konduktor dalam teknik elektronika adalah zat yang dapat menghantarkan arus listrik, baik berupa zat padat, cair atau gas. Karena sifatnya yang konduktif maka disebut konduktor. Konduktor yang baik adalah yang memiliki tahanan jenis yang kecil. Pada umumnya logam bersifatkonduktif. Emas, perak, tembaga, alumunium, zink, besi berturut-turut memiliki tahanan jenis semakin besar

Gaya adalah pengaruh apapun yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami perubahan, baik dalam bentuk gerakan, arah, maupun konstruksi geometris. . Dengan kata lain, sebuah gaya dapatmenyebabkan sebuah objek dengan massa tertentu untuk mengubah kecepatannya (termasuk untuk bergerak dari keadaan diam), atau berakselerasi, atau untuk terdeformasi. Gaya memiliki besar dan arah, sehingga merupakan besaran vektor. Satuan SI yang digunakan untuk mengukur gaya adalah Newton (dilambangkan dengan N). Gaya sendiri dilambangkan dengan simbol F.

Massa adalah suatu sifat fisika dari suatu benda yang digunakan untuk menjelaskan berbagai perilaku objek yang terpantau. Dalam kegunaan sehari-hari, massa biasanya disinonimkan dengan berat. Namun menurut pemahaman ilmiah modern, berat suatu objek diakibatkan oleh interaksi massa dengan medan gravitasi. Sebagai contoh, seseorang yang mengangkat benda berat di Bumi dapat mengasosiasi berat benda tersebut dengan massanya. Asosiasi ini dapat diterima untuk benda-benda yang berada di Bumi. Namun apabila benda tersebut berada di Bulan, maka berat benda tersebut akan lebih kecil dan lebih mudah diangkat namun massanya tetaplah sama.

Usaha atau kerja (dilambangkan dengan W dari Bahasa Inggris *Work*) adalah energi yang disalurkan gaya ke sebuah benda sehingga benda tersebut bergerak.

Energi kinetik adalah bagian energi yang berhubungan dengan gerakan suatu benda.

Energi potensial dari sebuah sistem adalah energi yang dihubungkan dengan konfigurasi ruang dari komponen-komponennya dan interaksi mereka satu sama lain. Jumlah partikel yang mengeluarkan gaya satu sama lain secara otomatis membentuk sebuah sistem dengan energi potensial. Gaya-gaya tersebut, contohnya, dapat timbul dari interaksi elektrostatik

Energi dinyatakan satuan kerja adalah joule (*J*), dinamakan untuk menghormati James Prescott Joule dan percobaannya dalam persamaan mekanik panas. Dalam istilah yang



lebih mendasar 1 joule sama dengan 1 newton-meter dan, dalam istilah satuan dasar *S*I, 1 *J* sama dengan 1 kg m^2 s^{-2}

Sistem Satuan Internasional adalah sistem satuan atau besaran yang paling umum digunakan. Pada awalnya sistem ini merupakan sistem MKS, yaitu panjang (meter), massa (kilogram), dan waktu (detik/sekon). Sistem SI ini secara resmi digunakan di semua negara di dunia kecuali Amerika Serikat (yang menggunakan Sistem Imperial), Liberia, dan Myanmar. Dalam sistem SI terdapat 7 satuan dasar/pokok SI dan 2 satuan tanpa dimensi. Selain itu, dalam sistem SI terdapat standar awalan-awalan (prefix) yang dapat digunakan untuk penggandaan atau menurunkan satuan-satuan yang lain.



PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Modul dengan judul "Teknik Dasar Listrik Telekomunikasi" merupakan bahan ajar yang digunakan sebagai bahan ajar dan panduan praktikum peserta didik Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) untuk membentuk salah satu bagian dari kompetensi Penerapan Konsep Dasar Teknik Listrik, Bidang Keahlian Teknik Elektro.

Teknik Dasar Listrik Telekomunikasi merupakan modul teori dan atau praktikum yang memuat penerapan dari hukum-hukum kelistrikan, serta memuat kajian atau teori dalam menganalisa rangkaian .

Modul ini terdiri atas 12 (dua belas) kegiatan belajar yang mencakup tegangan dan daya listrik, cara – cara menganalisis rangkaian listrik arus searah seperti teori Thevenin, Superposisi, Norton, analisis loop dan analisis simpul, serta rangkaian transien terutama rangkaian RC yang banyak aplikasinya dalam praktek seperti pengisian dan pengosongan kapasitor. Dengan menguasai modulini diharapkan peserta diklat mampu menganalisis rangkaian listrik arus searah dan menerapkannya dalam praktek

Dengan modul ini diharapkan proses belajar mengajar akan menjadi program dan terencana untuk meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan pada siswa didik.

B. Prasyarat

Untuk melaksanakan modul Teknik Dasar Listrik Telekomunikasi memerlukan kemampuan awal yang harus dimiliki peserta diklat, yaitu :

- Peserta diklat telah memahami konsep dasar fisika teknik.
- Peserta diklat telah memahami komponen-komponen dasar kelistrikan, seperti sumber tegangan, komponen pasif.
- Peserta diklat telah memahami hukum -hukum kelistrikan.
- Peserta diklat dapat menggunakan alat ukur analog.



C. Petunjuk Penggunaan

Langkah - langkah yang harus dilakukan untuk mempelajari modul ini:

a. Bagi siswa atau peserta didik:

1. Bacalah tujuan antara dan tujuan akhir dengan seksama,
2. Bacalah Uraian Materi pada setiap kegiatan belajar dengan seksama sebagai teori penunjang,
3. Baca dan ikuti langkah kerja yang ada pada modul ini pada tiap proses pembelajaran sebelum melakukan atau mempraktekkan,
4. Persiapkan peralatan yang digunakan pada setiap kegiatan belajar yang sesuai dan benar,
5. Jawablah setiap pertanyaan pada tes formatif untuk masing-masing kegiatan belajar, cocokkan dengan kunci jawaban yang telah tersedia pada kunci jawaban,
6. Jawablah pertanyaan pada soal evaluasi dan cocokkan dengan kunci jawaban yang telah tersedia pada kunci jawaban.

b. Bagi guru pembina / pembimbing:

1. Dengan mengikuti penjelasan didalam modul ini, susunlah tahapan penyelesaian yang diberikan kepada siswa / peserta didik.
2. Berikanlah penjelasan mengenai peranan dan pentingnya materi dari modul ini.
3. Berikanlah penjelasan serinci mungkin pada setiap tahapan tugas yang diberikan kepada siswa.
4. Berilah contoh gambar-gambar atau barang yang sudah jadi, untuk memberikan wawasan kepada siswa.
5. Lakukan evaluasi pada setiap akhir penyelesaian tahapan tugas.
6. Berilah penghargaan kepada siswa didik yang setimpal dengan hasil karyanya.



D. TUJUAN AKHIR

Setelah mengikuti/ menyelesaikan kegian-kegiatan belajar dari modul ini , diharapkan siswa memiliki spesifikasi kinerja sebagai berikut :

1) Memahami tentang dasar-dasar elektro statis yang akan digunkan dalam teknik listrik
2) Memiliki pengetahuan dan pemahaman pengertian dari elektro dinamis yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari.
3) Memiliki pengetahuan tentang dasar-dasar hukum arus searah yang digunakan dalam teknik listrik.
4) Mampu menyelesaikan persoalan-persoalan rangkaian listrik arus searah yang banyak digunakan dalam teknik listrik.
5) Memahami konsep dasar elektromagnetik dan mengetahui aplikasinya dalam bidang teknik listrik.
6) Mampu menganalisis perhitungan-perhitungan tentang kuantitas kemagnetan yang banyak digunakan dalam bidang teknik listrik.
7) Memahami konsep dasar induktansi dan kapasitansi serta perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan komponen-komponen tersebut.
8) Memahami konsep-konsep dasar induksi elektromagnet dan aplikasinya dalam bidang teknik ketenagalistrikan.
9) Memiliki pengetahuan dasar arus listrik bolak-balik satu fasa, proses pembangkitannya, serta aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.
10) Mengetahui dan memahami tentang arus listrik bolak-balik sistem fase tiga dan aplikasinya di masyarakat.

E. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

Dengan menguasai modul ini diharapkan peserta / siswa didik dapat menjelaskan tentang teknik dasar listrik baik secara teoritis maupun praktis, serta dapat menjelaskan termasuk didalamnya menghitung perhitungan perhitungan yang berkenaan dengan teknik dasar hukum hukum kelistrikan dalam Teknik Dasar Listrik Telekomunikasi.



F. Cek Kemampuan Awal

No	Daftar Pertanyaan	Tingkat Penguasaan (score : 0 – 100)
1	Apakah siswa sudah memahami sifat-sifat komponen listrik sesuai fungsi dan tujuan ?	
2	Apakah siswa mampu menyebutkan dan menjelaskan macam-macam elektrostatis ?	
3	Apakah siswa mampu menyebutkan dan menjelaskan macam-macam elektrodinamis ?	
4	Apakah siswa mampu menyelesaiakan persoalan rangkaian pada teknik listrik arus searah dengan hukum-hukum yang rangkaian yang ada ?	
5	Apakah siswa dapat menjelaskan proses terjadinya elektromagnetik beserta besaran (kuantitas) kemagnetannya yang berhubungan dengan teknik listrik ?	
6	Apakah siswa dapat membedakan maksud, tujuan dan fungsi dari induktansi dan induksi elektromagnetik yang digunakan dalam teknik listrik ?	
7	Apakah siswa mampu menjelaskan proses terjadinya arus bolak-balik dan peralatan yang terkait dengan sistem tersebut ?	
8	Apakah siswa telah mengikuti prosedur / ketentuan pemakaian komponen teknik listrik sesuai dengan fungsi dan tujuan yang telah ditetapkan ?	



9	Apakah siswa telah mengikuti aturan sesuai dengan SOP ?	
10	Apakah siswa telah mencatat data hasil pemasangan dalam laporan pemasangan komponen ?	
11	Apakah siswa telah membuat berita acara sesuai format yang telah ditetapkan lembaga bersangkutan ?	

Apabila siswa telah mendapatan score minimum 80% dalam mengerjakan tugas tersebut diatas dengan benar, maka siswa yang bersangkutan sudah dapat ujian untuk mendapatkan sertifikat, dan tidak perlu mengkuti modul ini serta diperbolehkan langsung mengikuti modul berikutnya.



Kegiatan Belajar 7 : RANGKAIAN KEMAGNETAN & ELEKTRO MAGNET

7.1 Tujuan Pembelajaran

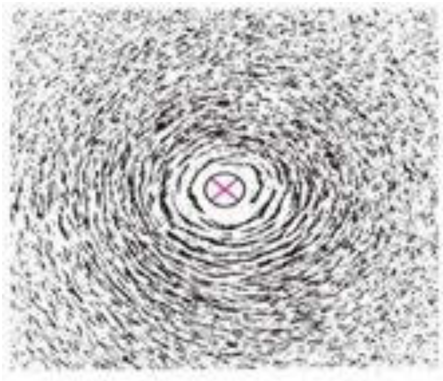
Setelah mempelajari modul ini siswa dapat:

- Menjelaskan aplikasi magnet pada kehidupan sehari hari terutama pada perlatan meter serta pada peralatan rumah tangga
- Menjelaskan proses terjadinya elektro komponen penyusunnya beserta perumsannya
- Menjelaskan aplikasi elektromagnet pada kehidupan sehari hari terutama pada perlatan meter serta pada peralatan rumah tangga
- Menjelaskan hubungan antara Gaya gerak magnetic(Θ),jumlah belitan dan besarnya arus yang mengalir dalam belitan.Θ=AmperLilit.
- Menjelaskan hubungan antara Kuat medan magnet(H), gaya gerak magnet (Θ) dan panjang lintasan(lm).H=I.N/lm.
- Menjelaskan KurvaHisterisis(B-H)d a n menggambarkan sifat bahan magnet terhadap permeabilitas
- Menjelaskan Prinsip kerja Motor Listrik berdasarkan kaidah tangan kiri Flemming, Hukum tangan kiri Flemming yang menyatakan jika telapak tangan kiri berada diantara kutub magnet utara dan selatan.
- Menjelaskan Prinsip kerja transformator berdasarkan prinsip induksi dua belitankawat primerdansekunder.
- ✓ Menjelaskan Besarnya tegangan induksi berbanding lurus dengan jumlah belitan kawat dan berbanding dengan perubahan medan magnet persatuan waktu($\Delta\Phi/\Delta t$)

7.2 Uraian Materi

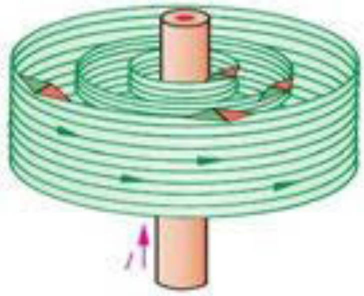
7.1 Elektromagnet

Elektro magnet adalah prinsip pembangkitan magnet dengan menggunakan arus listrik. Aplikasi praktisnya kita temukan pada pita tape recorder, motor listrik, speaker,relaydsb.Sebatang kawatyang diberikan listrik DC arahnya meninggalkan kita (tandasilang), maka disekeliling kawat timbul garis gaya magnet melingkar ***gambar-7.1***



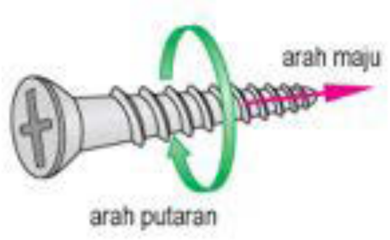
Gambar-7.1 Prinsip Elektro Magnetik

Gambar visual garis gaya magnet didapatkan dariserbuk besi yang ditaburkan disekeliling kawat beraliran listrik. Sebatang kawat posisi vertikal diberikan arus listrik DC searah panah, arus menuju keatas arah pandang (tandatitik).Garis gaya mahnet yang membentuk selubung berlapis lapis terbentuk sepanjang kawat ***gambar-7.2.*** Garis gaya magnet ini tidak tampak oleh mata kita,cara melihatnya dengan serbuk halus besi ataukompas yang didekatkan dengan kawat penghantar tsb. Kompas menunjukkan bahwa arah garis gaya sekitar kawat melingkar ber arus



Gambar 7. 2: Garis magnet membentuk selubung seputar kawat

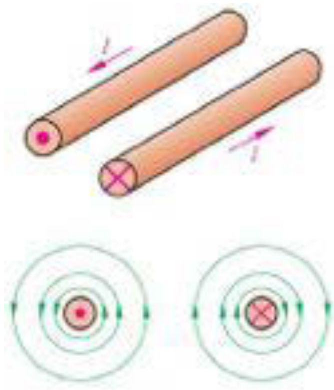
Arah medan magnet disekitar penghantar sesuai arahputaran sekrup (*James Clerk Maxwell, 1831-1879*) ***gambar-7.11***. arah arus kedepan (meninggalkan kita) maka arah medan magnet searah putaran sekrup kekanan. Sedangkan bila arah arus kebelakang (menuju kita) maka arah medan magnet adalah kekiri.



Gambar 7.3: Prinsip putaran sekrup

Aturan sekrup mirip dengan hukum tangan kanan yang menggenggam, arah ibu jari menyatakan arah arus listrik mengalir pada kawat. Maka keempat arah jari menyatakan arah dari garis gaya elektromagnet yang ditimbulkan.

Arah aliran arus listrik DC pada kawat penghantar menentukan arah garis gaya elektro magnet.Arah arus listrik DC menuju kita(tandatitik pada penampang kawat), arah garis gaya elektromagnet melingkar berlawanan arah jarumjam***gambar-7.4***.



Gambar 7.4: Elektromagnetik sekelilingkawat

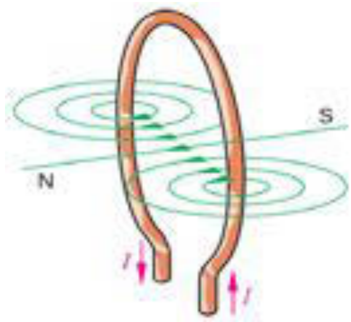
Ketika arah arus listrik DC meninggal kan kita (tanda silang penampang kawat),garis gaya elektro magnet yang ditimbulkan melingkar searah dengan jarum jam (sesuai dengan model mengencangkan sekrup).Makin besar intensitas arus yang mengalir



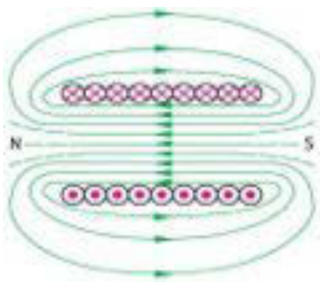
semakin kuat medan elektro- magnet yang mengelilingi sepanjang kawat tersebut

7. 2. Elektromagnet pada Belitan Kawat

Kawat penghantar bentuk bulat dialiri aruslistrik*I*sesuaiarahpanah***gambar-7.5.***Hukumtangankanandalamkasus ini, disekelilingkawattimbulgarisgaya magnet yangarahnyasecaragabungan membentukkutubutaradankutub selatan. Makin besar arus listrik yang melewati kawat makinkuat medan elektromagnetik yangditimbulkannya



Gambar 7.5:Kawat melingkar berarus membentuk kutub magnet



Gambar 7.6: Belitan kawat membentuk kutub magnet

Jika beberapabelitankawatdigulungkan membentuk sebuah coil, jika dipotong secara melintang maka arah arus ada dua jenis. Kawat bagian atas bertanda silang (meninggalkan kita) dan kawatbagianbawahbertandatitik(menujukita) ***gambar-7.6.***Hukumtangankanan empatjarimenyatakan araharus*I*,arah ibu jarimenunjukkankutubutaramagnet

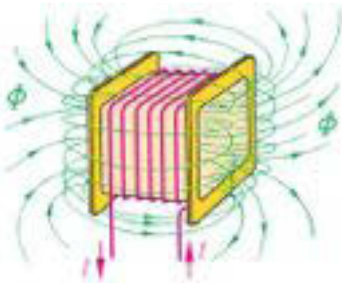


Gambar 7.7 : Hukum tangankanan

Hukumtangan kanan untuk menjelas kan terbentuknyagarisgayaelektromagnet pada sebuahgulungancoil***gambar-7.7***. Sebuah gulungankawatcoildialiriaruslistrikarahnya sesuai dengan empat jari tangan kanan, kutubmagnetyangdihasilkandimanakutub utarasearah dengan ibu jari dan kutub selatan arah lainnya. Untuk menguatkan medanmagnetyangdihasilkanpada gulungan dipasangkanintibesidari bahan ferromagnet, sehinggagaris gayaelektromagnetmenyatu.Aplikasinyadipakai pada coilkontaktoraturelay.

7.3. FluksiMedanMagnet

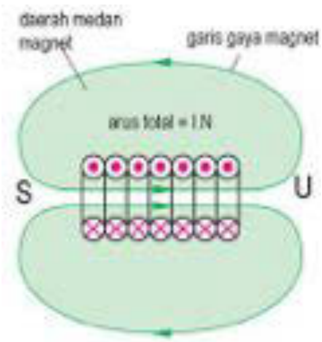
Medan magnet tidak bisa kasat mata namun buktinya bisa diamati dengan kompas atau serbuk halus besi. Daerah sekitar yang ditembus oleh garis gaya magnet disebut gaya medan magnetik atau medan magnetik. Jumlah garis gaya dalam medan magnet disebut fluksi magnetik gambar-7.8



Gambar 7.8: Belitan kawat berinti udara

Menurutsatuaninternasional besaran fluksimagnetik (Φ)diukurdalam*Weber*,

disingkat *Wb* yang didifinisikan :"*Suatu medan magnet serbasamamempunyai fluksimagnetiksebesar1weber bila sebatangpenghantar dipotongkan pada garis-garis gaya magnet tsb selama satu detik akan menimbulkan gayageraklistrik (ggl)sebesarsatuvolt*".



Gambar 7.9: Daerah pengaruh medan magnet

Weber=Voltxdetik

[Φ] =1Vdetik=1Wb

Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC maka didalam inti belitan akan timbul medan magnetyangmengalirdari kutub utara menuju kutub selatan. Pengaruh*gayagerakmagnetik*akanmelingkupidaerahsekitarbelitanyang diberikanwarnaarsir***gambar-7.9***

.*Gayagerakmagnetik*(Θ)sebandinglurusdenganjumlahbelitan(N)danbesarnyaarusyangmengalir(I),secarasingkatkuat medan magnetsebandingdengan*amper-lilit*.

$\Theta = I \cdot N$ [Θ] =Amper-turn

Θ Gayagerakmagnetik

I Arusmengalirkebelitan

N Jumlahbelitankawat

Contoh: Belitankawatsebanyak600lilit,dialiriarus2A.Hitunglaha)gayagerak magnetiknyab)jikakasusa)dipakai1200lilitberapabesarnyaarus?

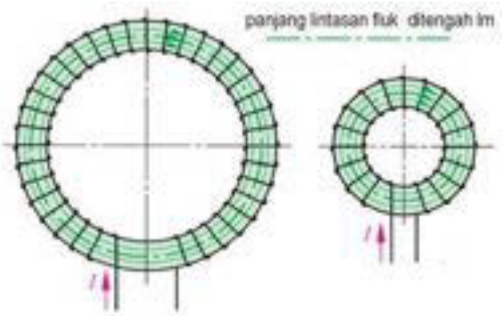
Jawaban:

a) Θ=*I . N*=600lilitx2A= **1.200Amper-lilit**

b) *I* =Θ/*N*=1.200Amper-lilit/1200lilit=**1Amper.**

7.5. Kuat Medan Magnet

Duabelitanberbentuktoroida denganukuranyang berbeda diameternya***gambar-7.10.***Belitan toroidayangbesarmemilikidiameter lebihbesar,sehinggakeliling lingkarannyalebihbesarBelitan toroidayang kecil tentunyamemiliki keliling lebih kecil. Jikakeduanya memilikibelitan (N)yangsama, dan dialirkan arus (I) yangsama maka *gaya gerak magnet* ($\Theta = N.I$) juga sama. Yang akanberbeda adalah *kuatmedanmagnet*(H)darikedua belitandiatas



Gambar 7.10: Medan magnet padatoroida

Persamaankuatmedanmagnet

$$H = \frac{\Theta}{l_m} = \frac{I.N}{l_m} \qquad [H] = \frac{A}{m}$$

- H Kuatmedanmagnet
- l_m Panjanglintasan
- Θ Gayagerakmagnetik
- I Arusmengalirkebelitan
- N Jumlahbelitankawat

Contoh: Kumparantoroidadengan5000belitankawat,panjanglintasan magnet 20cm,arusyangmengalirsebesar100mA.Hitungbesarnyakuat medan magnetiknya

Jawaban:

$$H = \frac{I.N}{l_m} = \frac{0{,}1\,A\,.\,5000}{0{,}2\,m} = \mathbf{2.500\ A/m}$$

7.4. KerapatanFlukMagnet

Efektivitas medan magnetik dalam pemakaiansering ditentukan oleh besarnya "*kerapatan fluk magnet"*, artinya fluk magnet yangberada padapermukaan yanglebihluas kerapatannyarendah danintensitas medannyalebihlemah ***gambar-7.11***. Padapermukaan yanglebihsempit kerapatanflukmagnet akankuatdan intensitasmedannyalebihtinggi.

Kerapatanfluk magnet(B) atau induksi magnetikdidefinisikan sebagaiflukpersatuanluas penampang.Satuanfluk magnet adalah*Tesla*.

$$B = \frac{\Phi}{A} \qquad [B] = \frac{V.s}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} = T$$

B Kerapatanmedanmagnet

Φ Flukmagnet

A Penampanginti

Contoh: Belitankawatbentukintipersegi50mmx30mm, menghasilkankuatmedan magnetsebesar0,8Tesla.Hitungbesarflukmagnetnya.

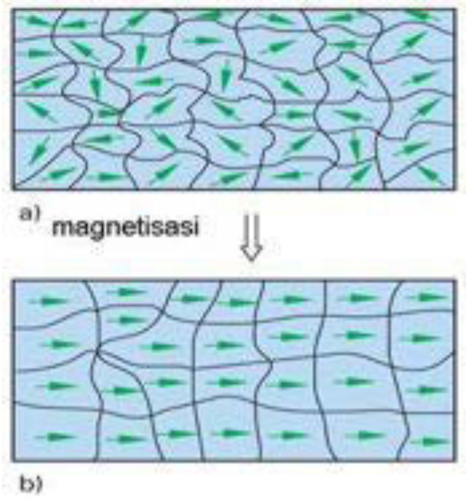
Jawaban:

$$B = \frac{\Phi}{A} \Rightarrow \Phi = B \,.\, A = 0{,}08\text{T} \times 0{,}05 \text{ m} \times 0{,}03 \text{ m} = \mathbf{1{,}2\ mWb}$$

7.5. Bahan Ferromagnet

Bahanferromagnetdipakaisebagai bahan inti dalam transformator, stator motor.Susunan molekulbahan ferromagnetterbentuk daribagian-bagian kecildisebut"*domain*"***gambar-7.11.***

Setiap domainmerupakan*magnetdipole elementer*danmengandung10^{12} sampai10^{15} atom. Bilabahan*ferromagnetik*mendapat pengaruhmedanmagnetluar, dengansegeramasing-masing melekul membentukkutubyangsearah



Gambar 7.11: Bahan ferromagneik

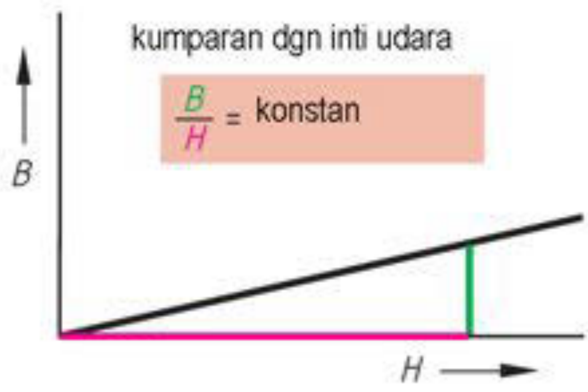
7.5.1. Permeabilitas

Permeabilitasatau "*daya hantar magnetik* (ɜ)" adalah kemampuan bahanmedia untuk dilalui fluk magnet. Ada tiga golongan media magnet yaituferromagnet, paramagnetdandiamagnet.

Ferromagnetmudahdijadikanmagnetdanmenghasilkanmedanmagnetyangkuat,memilikidayahantarmagnetikyangbaik.Contohnya:besi,baja,nikel,cobal sertacampuranbeberapalogamseperti*Alnico*dan*permalloy.*

Paramagnet kurangbaikuntukdijadikan magnet,hasilnya lemahdan permeabilitasnyakurangbaik. Contohnya:*aluminium,platina, mangan, chromium.*

Diamagnet bahan yang lemah sebagai magnetdanberlawanan,permeabilitasnya dibawahparamagnet. Contohnya:*bismuth, antimonium, tembaga, seng, emas dan perak.*



Gambar 7.12:KurvaBH inti udara

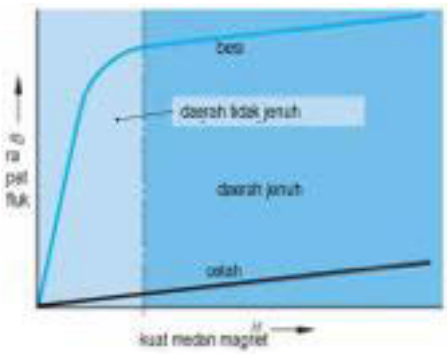
KurvaBH mengandunginformasiyang berhubungan denganpermeabilitassuatu bahan. Satuan permeabilitas *Wb/Am.* Permeabilitas hampa udara diperolehdariperbandinganantarakerapatanflukdankuatmedanmagnet ***gambar-7.12***.

Persamaanpermeabilitashampaudara:

$$\mu_0 = \frac{B}{H} \qquad [\mu_0] = \frac{\frac{Vs}{m^2}}{\frac{A}{m}} = \frac{Vs}{Am} = \text{Wb/Am}$$

$$\mu_0 = 1{,}257 \,.\, 10^{-6}\ \text{Wb/Am}$$

μ_0	Permeabilitashampaudara
B	Flukmagnet
H	Kerapatanmagnet



Gambar 7.13: KurvaBH ferromagnetik

Permeabilitasuntuk bahan magnet sifatnyatidakkonstan,selalu diperbandingkanterhadappermeabilitashampaudara,dimanaperbandinga ntersebut disebutpermeabilitasrelatif ***gambar-7.14***.

Persamaanpermeabiltasbahanmagnet:

$$\mu = \mu_0 . \mu_r \Rightarrow \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \text{Wb/Am}$$

μ	Permeabilitas bahan
μ_0	Permeabilitas hampa udara
μ_r	Permeabilitas relatif

Contoh: Belitankawatronggaudaramemilikikerapatan2.500A/m,Hitungbesarflukmagnetnya,biladiketahuiμ_0 =1,257. 10^{-6}Wb/Am

Jawaban:

B=μ_0 .H

B=1,257. 10^{-6} Wb/Am. 2500A/m=0,00314T=**3,14mT**

Contoh: Besitoroidmempunyaikeliling0,3 meterdan luaspenampang1cm^2. Toroidadililitkankawat600belitandialiriarussebesar100mA.Agardiperolehflukmagnetsebesar60µWbpadatoroidatsb.Hitung a)kuatmedanmagnetb)kerapatanflukmagnet c) permeabilitasabsolut dand)permeabiltasrelatifbesi.

Jawaban:

a) Kuat medan magnet $H = \dfrac{I.N}{l_m} = \dfrac{600t \,.\, 0,1A}{0,3m}$ = **200 A/m**

b) Kerapatan fluk magnet $B = \dfrac{\Phi}{A} = \dfrac{60.10^{-6}}{1,0.10^{-4}}$ = **0,6 T**

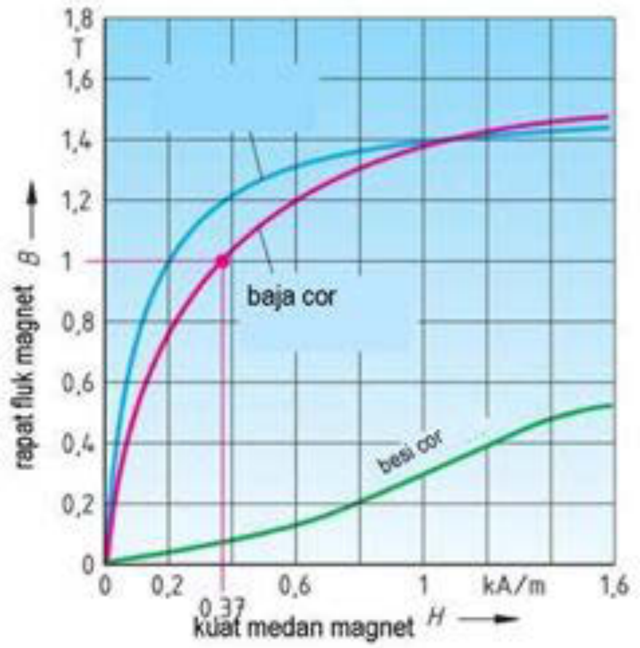
c) Permeabilitas absolut/bahan $\mu_0 = \dfrac{B}{H} = \dfrac{0,6}{200}$ = **0,003 Wb/Am**

d) Permeabilitas relatif $\mu_r = \dfrac{\mu}{\mu_0} = \dfrac{0,003}{1,257x10^{-6}}$ = **2.400**

7.5.2.KurvaMagnetisasi

Faktor penting yangmenentukan perubahanpermeabiltasbahanadalah: jenisbahan danbesarnyagayagerak magnetik yangdigunakan.

Berdasarkankurvamagnetisasi ***gambar-7.14***untukmendapatkan kerapatanfluk1Tesladiperlukankuat medanmagnet370A/m.Jikakerapatan flukdinaikkan1,2Tesladiperlukankuat medan magnet600A/m.



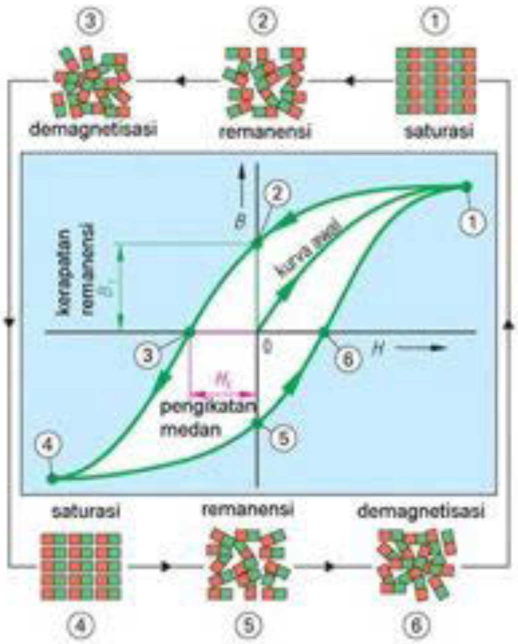
Gambar 7.14 Kurva magnetisasi

Tabel7.1Permeabilitas	
Media	$\mu\tau$
Hampaudara	$\mu\tau=1$
Udara	$\mu\tau\sim1$
Paramagnetik, Aluminium,Krom	$\mu\tau>1$
Ferromagnetik,Besi,Nikel	$\mu\tau\geq1,...10^5$
Diamagnetik,tembaga	$\mu\tau<1$

Berikutnya kerapatan fluk 1,4 Tesla diperlukan kuat medan 1.000 A/m. Kesimpulannyagrafikmagnetbukangarislinier,tapimerupakangarislengkung pada titiktertentumenujutitikkejenuhan

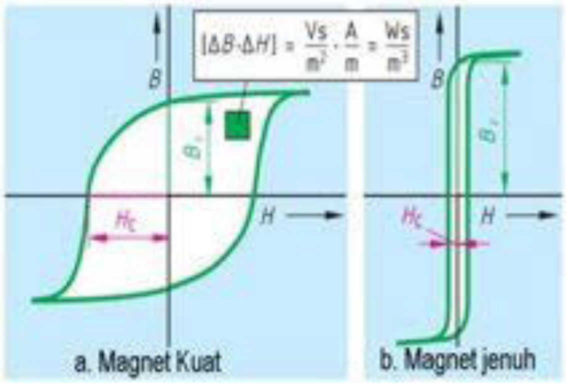
7.5.3. KurvaHisterisis

Batangbesiyangmomen magnetiknyanolakandilihatperilakuhubunganantarakerapatanfluk magnet(B) dengankuatmedanmagnet(H)***gambar-2.24.***



Gambar 2.24: Kurva histerisis

1. DiawaliHdinaikkandarititik(0) sampaititik (1), nilai Bkonstan mencapaikejenuhan sifatmagnet sempurna.
2. Kemudian H diturunkan sampai titik(0),ternyatanilaiBberhenti di(2) disebut titik "*magnet remanensi*".
3. AgarBmencapaititik(0)diangka (3)diperlukan medankuatmedan magnetic Hc, disebut "*magnet koersif*",diukurdarisifatkekeras- an bahan dalam ketahanannya menyimpanmagnet.
4. Kemudian H dinaikkan dalam arahnegatif, diikuti olehBdengan polaritasberlawanansampai titik jenuhnya(4)
5. SelanjutnyaH diturunkanke titik (0), ternyata B masih terdapat kerapatan flukremanen(5).
6. TerakhirHdinaikkan arahpositif, dikuti oleh B melewati titik (6), disini lengkapsatuloophisterisis.



Gambar 2.25:Histerisis magnet permanen-ferromagnetik

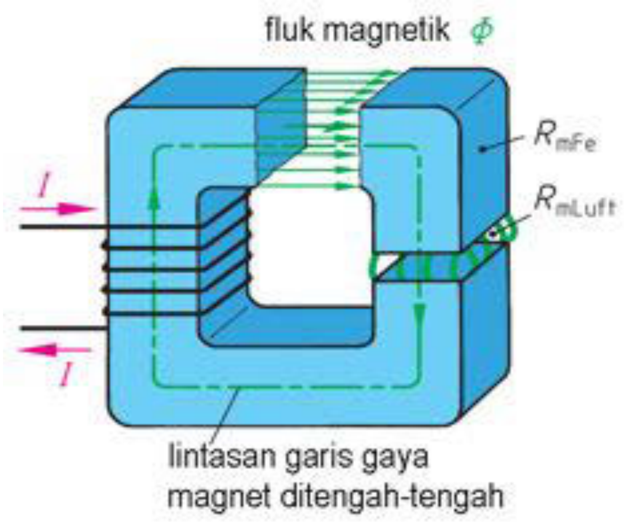
Tiga sifat bahan dari pembahasan diatas adalah: permeabilitas ,*remanensi* dan *koersivity*. Bahan yang cocok untuk magnet permanen adalah yang *koersivity* dan *remanensi* yang tinggi ***gambar-2.25a***.

Bahan yang cocok untuk elektromagnetik adalah yang permeabilitasnya dan kejenuhannya dari kerapatan fluk magnet yang tinggi, tetapi koersivitasnya rendah ***gambar-2.25b.***

2.6.Rangkaian Magnet

Rangkaian magnetik Terdiri beberapa bahan magnetik yang masing- masing memiliki permeabilitas dan panjang lintasan yang tidak sama. Maka setiap bagian mempunyai reluktansi yang berbeda pula, sehingga reluktansi total adalah jumlah darir eluktansi masing-masing bagian.

Inti besi yang berbentuk mirip huruf C dengan belitan kawat dan mengalir arus listrik I, terdapat celah sempit udara yangdilewatigarisgaya magnet gambar-2.26. Rangkaian ini memilikiduareluktansi yaitu reluktnasi besi R_{mFe} dan reluktansi celah udara $R_{m\ udara}$.



Gambar 2.26: Rangkaian magnetik

Persamaanreluktansi:

$$R_m = \frac{l_m}{\mu . A} = \frac{\Theta}{\Phi} \qquad [R_m] = \frac{A}{Vs}$$

$$R_m = R_{m\,Fe} + R_{m\,Luft}$$

$$\Theta = \Theta_{Fe} + \Theta_{Luft}$$

$$\Theta = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_{Luft} \cdot l_{Luft}$$

Contoh:

Berdasarkan ***gambar-2.26*** luaspenampang inti66,6cm^2 danfluk magnetnya8mWb.Panjanglintasanintibesi100cm,jarakcelahudara6mm.Hitung a)kerapatan fluk magnet pada intibesi dan tentukan besarnya gaya gerak magnet. b)Hitung besarnya gaya gerak magnet total

Jawaban :

a) $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{8mWb}{66{,}6cm^2} = \frac{0{,}008Wb}{0{,}0066m^2}$ **=1,20 Tesla**

BerdasarkangrafikkurvajikaB=1,2Tesla,diperlukankuatmedan magnet H=600A/m.

Besarnyagayagerakmagnetpadaintibesi:

$\Theta_{Fe} = H_{Fe} \cdot l_{Fe} = 600 \text{ A/m} \times 1 \text{ m} = \mathbf{600\ A}$

b) $B = \mu_0 \cdot H_L \Rightarrow H_L = \dfrac{1{,}20T}{1{,}257.10^{-6} Vs/(Am)} = \mathbf{0{,}95.\ 10^6\ A/m}$

$\Theta_L = H_L \cdot l_L = 0{,}95 \cdot 10^6 \dfrac{A}{m} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \mathbf{5700\ A}$

c) $\Theta = \Theta_{Fe} + \Theta_L = 600 \text{ A} + 5700 \text{ A} = \mathbf{6300\ A}$

Tabel2.2.Parameterdanrumuskemagnetan

Parameter	Simbol	Rumus	Satuan
Gaya gerak magnetik	Θ	$\Theta = I \cdot N$	*Amper lilit*
Kuat medan magnet	H	$H = \dfrac{I.N}{lm} = \dfrac{\Theta}{lm}$	$\dfrac{A}{m}$ = *Wb/A*
Fluk Magnet	Φ	$\Phi = B \cdot A$	*Wb = Vs*
Kerapatan medan magnet	B	$B = \dfrac{\Phi}{A} = \mu.H$	$\dfrac{Wb}{m^2} = \dfrac{Vs}{m^2}$ =*Tesla*
Permeabilitas	μ	$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r = \dfrac{B}{H}$	$\dfrac{Vs}{Am} = \dfrac{Wb}{Am} = \dfrac{\Omega s}{m}$
Permeabilitas hampa	μ_0	$1{,}257 \cdot 10^{-6}$	$\dfrac{Vs}{Am} = \dfrac{Wb}{Am} = \dfrac{\Omega s}{m}$
Reluktansi	R_m	$R_m = \dfrac{\Theta}{\Phi} = \dfrac{l_m}{\mu.A}$	$\dfrac{A}{Vs} = \dfrac{A}{Wb} = \dfrac{1}{\Omega s}$

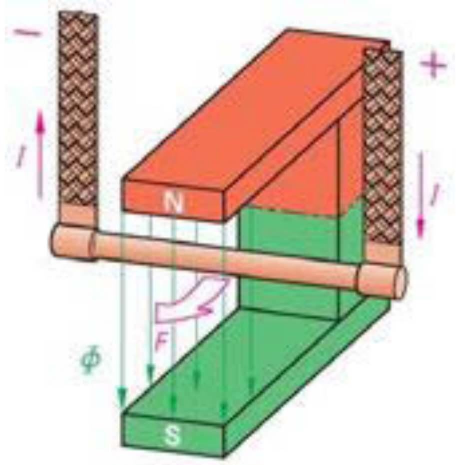
2.7.AplikasiKemagnetan&Elektromagnet

2.7.1. PrinsipKerja Motor Listrik DC.

Prinsip motor listrik bekerja berdasarkan hukum tangankiri *Fleming*. Sebuahkutub magnet berbentuk U dengan kutub utara- selatanmemiliki kerapatanflukmagnetϒ ***gambar-2.27***.

Sebatangkawatpenghantardigantung bebas dengan kabel fleksibel. Di ujung kawatdialirkanaruslistrik DCdariterminal+arus I mengalirketerminalnegatif.

Yang terjadi adalah kawat bergerak arah panahakanmendapatkangayasebesarF. Gaya yang ditimbulkansebandingdengan besarnya arusI.



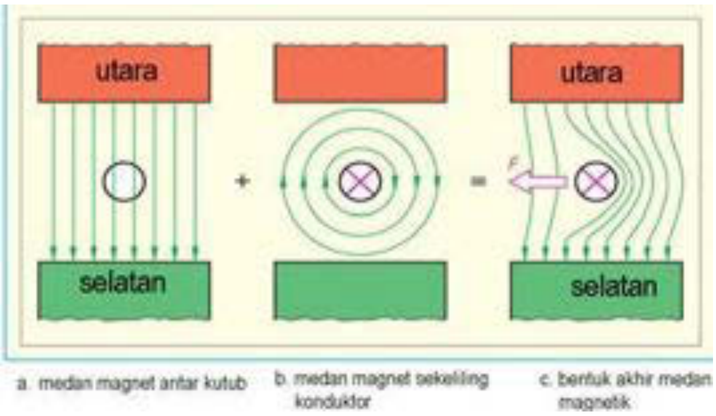
Gambar 2.27: Prinsip dasar motor DC

Jikapolaritas aliran listrik dibalik positif dan negatifnya,maka kawat akan bergerak kearahberlawananpanahF.

F= B.L.I

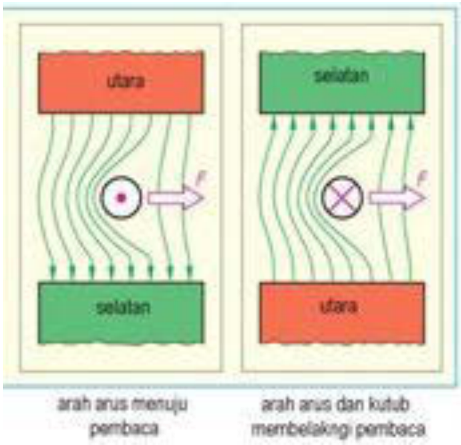
F gayamekanik	(Newton)
B kerapatanflukmagnet	(Tesla)
L panjangpenghantar	(meter)
I arus	(amper)

1. Kutubmagnetutara dankutubselatanterbentukgarismedanmagnetdarikutub utarakekutubselatansecaramerata***gambar-28a***.



Gambar 2.28: Prinsip timbulnya torsi motor DC

2. SebatangpenghantaryangdiberikanaruslsitrikDCmengalirmeninggalkita (tanda panah) prinsip elektromagnetik disekitar penghantar timbulmedan magnetarahkekanan***gambar-28b.***

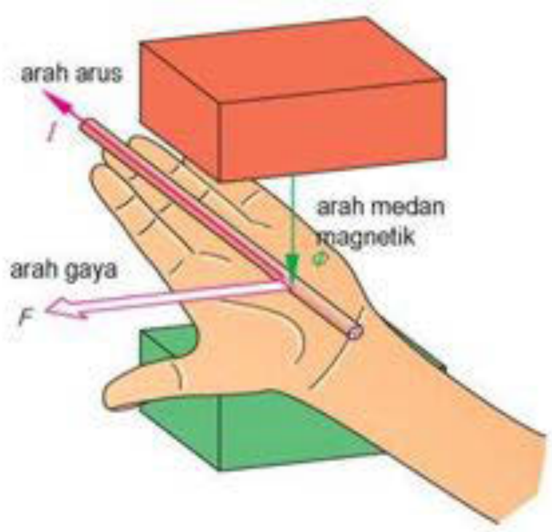


Gambar 2.29: Torsi Fmotor DC

3. Timbul interaksiantaramedan magnetdarikutubdanmedan elektromagnetikdaripenghantar, salingtolakmenolak timbulgayaF dengan arahkekiri***gambar-2.28c.***
4. Keempatjikaarusmenujukita(tanda titik),kawatpenghantar mendapatkangaya Fkearahkanan ***gambar-2.29a.***
5. Kelima, jikakutub utara-selatan dibalikkan posisi menjadi selatan – utara arah medan magnet berbalik, ketika kawat dialiri arus meninggal kan kita (tanda panah), interaksi medan magnet kawat mendapatkan gaya F kearah kanan ***gambar-2.29b.***

Hukum *tangan kiri Fleming* merupakan prinsip dasar kerja motor DC. Telapak tangan kiri berada diantara kutub utara danselatan, medan magnet Φ memotong penghantar ***gambar-2.30.***Arus ***I*** mengalir pada kawat searah keempat jari.Kawat akanmendapatkan gaya***F***yangarahnya searah ibujari.

Bagaimana kalau kutub utara- selatan dibalik posisinya ?, sementara arus ***I*** mengalir searah keempat jari. Tentukan arahgaya ***F*** yang dihasilkan ? Untuk menjawab ini peragakan dengan telapan tangan kiri anda sendiri



Gambar 2.30: Prinsip tangan kiri Flemming

Apa yang terjadi bila kutub magnet ditambahkan menjadi dua pasang ***gambar-2.31*** (kutub utara dan selatan dua buah). Medan magnet yang dihasilkan dua pasang kutub sebesar***2B***. Arus yang mengalir kekawat sebesar***I***. Maka gaya yang dihasilkan sebesar***2F***.Ingat persamaan***F=B.L.I***,jika besar medan magnet ***2B*** danarus tetap***I***, maka gaya yang dihasilkan sebesar ***2F***.

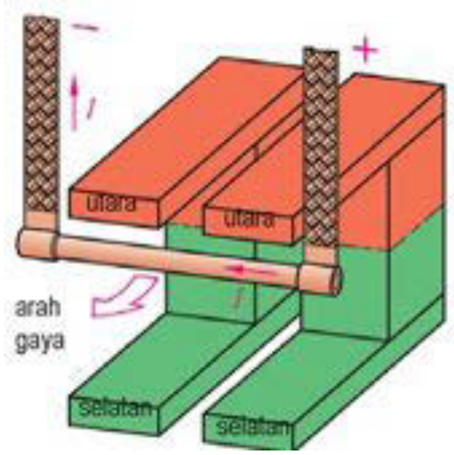
Contoh:

Kumparan kawat dengan 50 belitan, dialirkan arus sebesar 2Amper, kumparan kawat ditempatkan diantara kutub utara dan selatan. Gaya F yang terukur 0,75 Newton. Hitung besarnya kerapatan fluk magnet, jika lebar permukaan kutub 60mm dan kebocoran fluksi diabaikan

Jawaban:

Panjangefektifpenghantar=>L=50.60.10^{-3} =**3m**

Gaya F = B.L.I Newton => $B = \frac{F}{I.L} = \frac{0{,}75N}{2A.3m}$ = **0,125 Tesla**



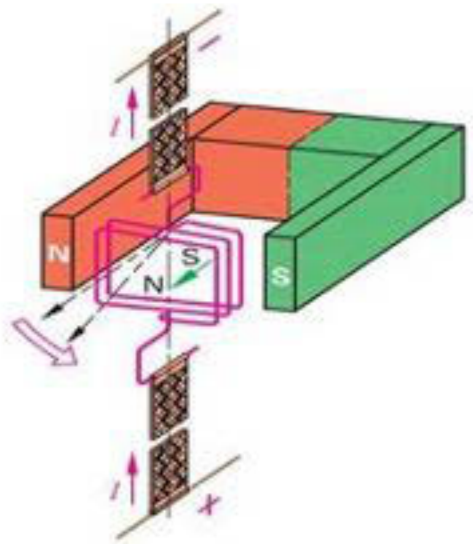
Gambar 2.31 : Model uji gaya tolak

2.7.2. Prinsip Dasar Kerja Alat Ukur Listrik

Alat ukur listrik dengan penunjuk jarum bekerja berdasarkan prinsip hukum tangan kiri Flemming. Sebuah kumparan dari belitan kawat penghantar digantungkan pada dua utas kabel fleksibel, dimana kumparan bisa berputar bebas gambar-2.32.

Kumparan kawat ditempatkan diantara kutub magnet utara-selatan berbentuk huruf U. Kutub magnet permanen menghasilkan garis medan magnet yang akan memotong kumparan kawat. Ketika kawat dihubungkan sumber listrik dari terminal positif mengalirkan arus listrik I ke terminal negatif.

Prinsip elektromagnetis dalam kumparan terjadi medan magnet elektromagnetis. Medan magnet kutub permanen berinteraksi saling tolak menolak dengan medan elektromagnetis kumparan, kumparan mendapat gaya putar F akibatnya kumparan berputar searah panah.

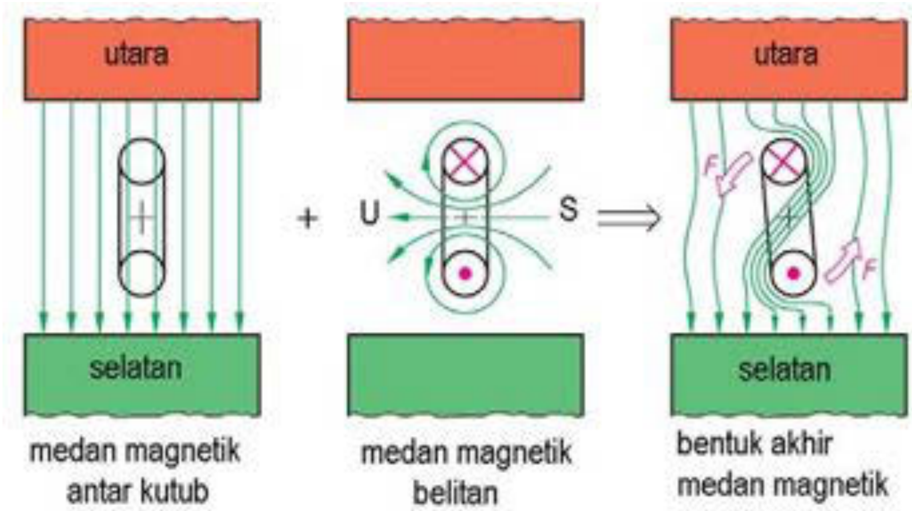


Gambar 2.32: Prinsip alat ukur listrik

Besarnya gaya   F = B.I.L   Newton

Penjelasan terjadinya kumparan putar mendapatkan gaya F, kutub magnet permanen utara-selatan menghasilkan garis medan magnet B dengan arah dari kutub utara menuju kutub selatan gambar-2.33a.

Kumparan kawat dalam posisi searah garis medan magnet berada diatara kutub magnet permanen, dialirkan arus listrik sebesar I. Prinsip elektromagnetik disekitar kumparan putar akan timbul medan magnet sesuai prinsip tangan kanan, kutub utara dikiri kutub selatan dikanan gambar-2.33b.

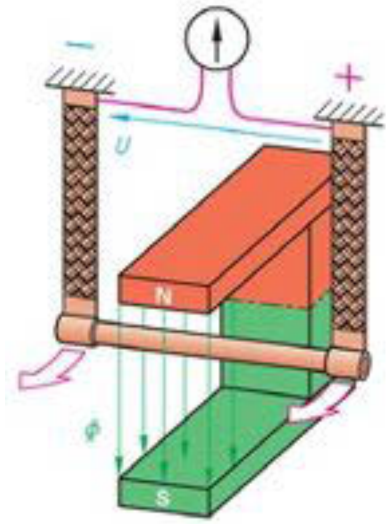


Gambar 2.33 : Prinsip torsi pada kawat berarus

2.7.3. Prinsip Dasar Kerja Generator

Prinsip kerja generator dikenalkan Michael Faraday 1832, sebuah kawat penghantar digantung dua ujungnya ditempatkan diantara kutub magnet permanen utara-selatan gambar-2.34. Antara kutub utara dan selatan terjadi garis medan magnet Ɏ.

Kawat penghantar digerakkan dengan arah panah, maka terjadi dikedua ujung kawat terukur tegangan induksi oleh Voltmeter. Besarnya tegangan induksi tergantung oleh beberapa faktor, diantaranya : kecepatan menggerakkan kawat penghantar, jumlah penghantar, kerapatan medan magnet permanen B.



Gambar 2.34 : Prinsip generator

U = B.L.v.Z   Volt

U Tegangan induksi

B Kerapatan medan magnet   (Tesla)

L Panjang penghantar   (meter)

v Kecepatan gerakan   (m/det)

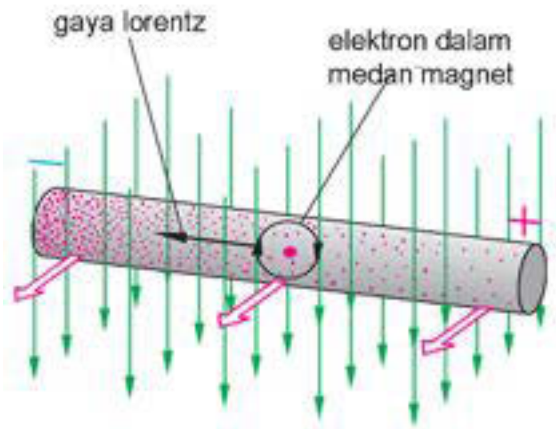
z Jumlah penghantar

Terjadinya tegangan induksi dalam kawat penghantar pada prinsip generator terjadi gambar-2.35, oleh beberapa komponen.

Pertama adanya garis medan magnet yang memotong kawat penghantar sebesar B.

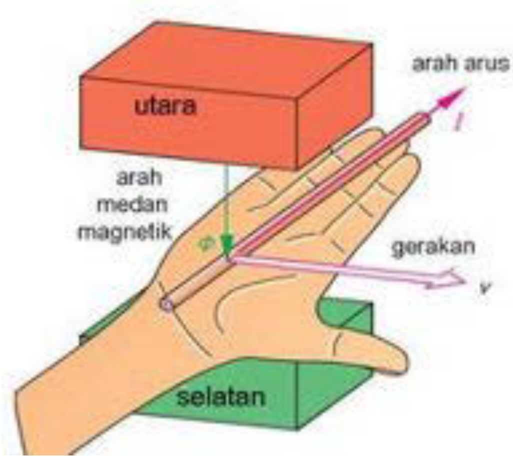
Kedua ketika kawat penghantar digerakkan dengan kecepatan v pada penghantar terjadi aliran elektron yang bergerak dan menimbulkan gaya gerak listrik (U).

Ketiga panjang kawat penghantar L juga menentukan besarnya tegangan induksi karena makin banyak elektron yang terpotong oleh garis medan magnet.



Gambar 2.35 : Prinsip hukum Lorentz

Prinsip tangan kanan Flemming menjelaskan terjadinya tegangan pada generator listrik. Sepasang magnet permanen menghasilkan garis medan magnet Ɏ gambar-2.36, memotong sepanjang kawat penghantar menembus telapak tangan.

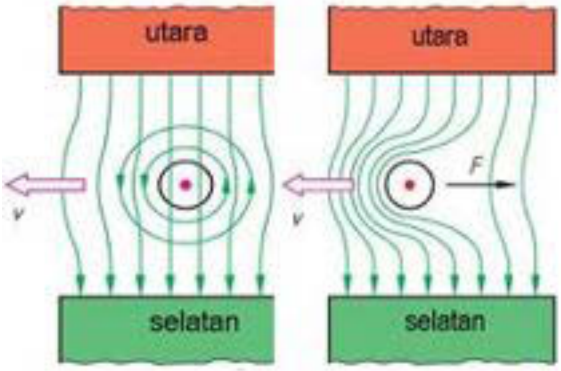


Gambar 2.36 : Prinsip tangan kanan Flemming

Kawat penghantar digerakkan kearah ibu jari dengan kecepatan v. Maka pada kawat penghantar timbul arus listrik I yang mengalir searah dengan arah keempat jari. Apa yang akan terjadi bila posisi magnet permanen utara-selatan dibalikkan, kemana arah arus yang dibangkitkan ?. Untuk menjawabnya peragakan dengan tangan kanan anda dan jelaskan dengan jelas dan sistematis.

Hukum Lenz, menyatakan penghantar yang dialiri arus maka sekitar penghantar akan timbul medan elektromagnet. Ketika kawat penghantar digerakkan

kecepatan v dan penghantar melewatkan arus kearah kita (tanda titik) sekitar penghantar timbul elektromagnet kearah kiri gambar-2.37a.



Gambar 2.37 : Interaksi elektromagnetik

Akibat interaksi medan magnet permanen dengan medan elektromagnet terjadi gaya lawan sebesar F yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan v kawat penghantar gambar-2.37b.

Contoh :

Model generator DC memiliki kerapatan fluk magnet sebesar 0,8 Tesla, panjang efektif dari penghantar 250 mm, digerakkan dengan kecepatan 12m/detik. Hitung besarnya tegangan induksi yang dihasilkan.

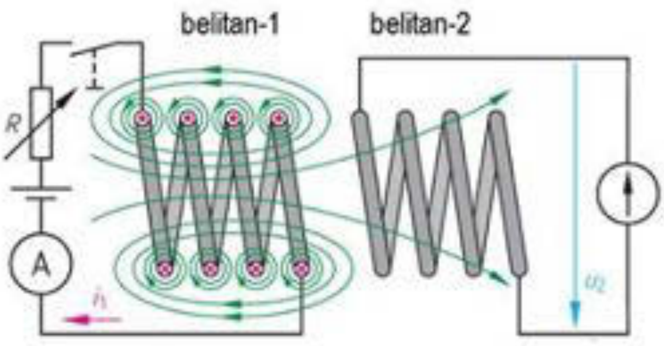
Jawaban :

U = B.L.v.Z Volt

= 0,8 Tesla. 250.10^{-3}meter. 12 m/det = 240 Volt

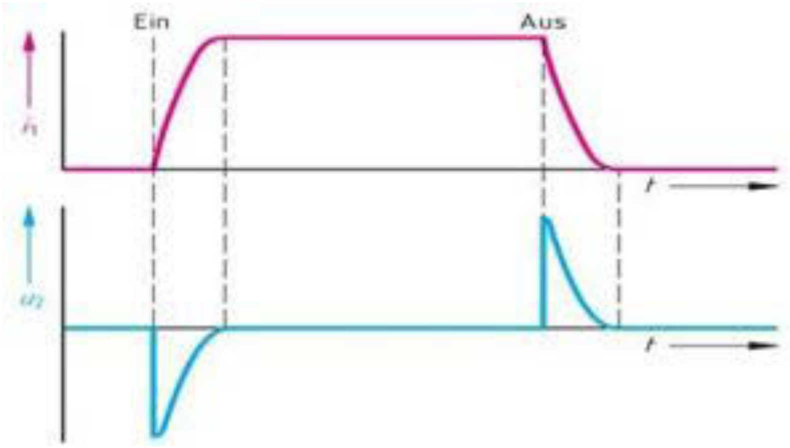
2.7.4. Prinsip Dasar Kerja Transformator

Dua buah belitan diletakkan berdekatan. Belitan pertama dihubungkan sumber listrik DC, resistor R yang bisa diatur dan saklar yang dapat di ON dan OFF kan. Belitan kedua kedua ujungnya dipasangkan pengukur tegangan Voltmeter gambar-2.38



Gambar 2.38: Prinsip induksi elektromagnetik

Ketika saklar di ON kan maka mengalir arus I1 dan menghasilkan medan magnet dengan arah kutub utara dikanan. Medan magnet dari belitan pertama ini menginduksi ke belitan kedua, sehingga di belitan kedua timbul tegangan induksi U2 yang terukur oleh Voltmeter kemudian tegangan hilang.



Gambar 2.39 : Gelombang belitan primer dan belitan sekunder

Saklar di OFF kan memutuskan arus listrik I1 ke belitan pertama, terjadi perubahan dari ada medan magnet menjadi tidak ada. Perubahan medan magnet belitan pertama di induksikan ke belitan kedua, timbul tegangan induksi sesaat di belitan kedua terukur oleh Voltmeter dan kemudian menghilang gambar-2.39.

Persamaan tegangan induksi :

$$u_i = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

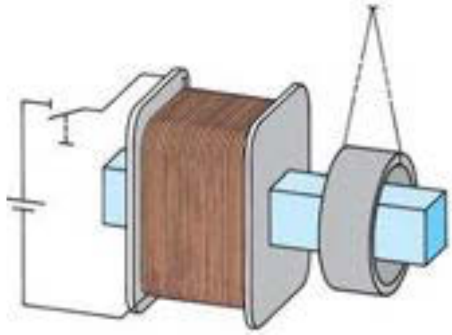
u1 Tegangan induksi

N Jumlah lilitan

Δφ Perubahan fluk magnet

Δt Perubahan waktu

Metode lain membuktikan adanya tegangan induksi, belitan kawat dipasang pada sebuah inti besi dan dihubungkan sumber listrik DC dengan saklar ON-OFF. Sebuah cincin aluminium diletakkan pada inti besi diujung berdekatan belitan pertama digantungkan dengan benang gambar-2.40



Gambar 2.40 : Induksi pada cincin

Saklar di ON kan maka sesaat ada perubahan arus di belitan pertama dan timbul medan magnet, medan magnet diinduksikan lewat inti besi dan dirasakan oleh cincin aluminium. Dalam cincin yang berfungsi sebagai belitan kedua mengalir arus induksi, arus induksi ini berinteraksi dengan medan magnet belitan pertama sehingga timbul gaya dan cincin bergerak.

Ketika saklar di OFF kan timbul medan magnet kembali, dan induksi diterima cincin dan timbul gaya yang menggerakkan cincin aluminium. Dengan saklar di ON dan OFF kan maka cincin akan bergerak kekanan kekiri berayun-ayun pada gantungannya.

Dalam prakteknya saklar yang ON dan OFF diganti dengan sumber listrik AC yang memang selalu berubah setiap saat besaran tegangannya.

Contoh :

Sebuah model transformator memiliki 600 belitan kawat, fluk medan magnet sebesar 0,2mWeber, saklar di ON-OFF kan dalam waktu 3 milidetik. Hitunglah besarnya tegangan induksi.

Jawaban :

$$u_i = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -60 \cdot \frac{0{,}2mWb}{3ms} = -\frac{60.0{,}2mWb}{3ms} = -4\ V$$

7.3 Rangkuman

- Magnet memiliki sifat dapat menarik bahan logam, magnet memiliki dua kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan.
- Bagian tengah batang magnet merupakan daerah netral yang tidak memiliki gari gaya magnet.
- Magnet secara mikroskopis memiliki jutaan kutub magnet yang teratur satu dengan lainnya dan memiliki sifat memperkuat satu dengan lainnya, sedangkan logam biasa secara mikroskopis posisi magnetnya acak tidak teratur dan saling meniadakan.
- Bumi merupakan magnet alam raksasa, yang dapat dibuktikan dengan penunjukan kompas kearah utara dan selatan kutub bumi.
- Batang magnet memancarkan garis gaya magnet dengan arah kutub utara dan selatan, dapat dibuktikan dengan menaburkan serbuk besi diatas permukaan kertas dan batang magnet.
- Kutub magnet yang sama akan saling tolak menolak, dan kutub magnet yang berlainan akan saling tarik menarik.
- Elektromagnet adalah prinsip pembangkitan magnet dengan menggunakan arus listrik, aplikasinya pada loud speaker, motor listrik, relay kontaktor dsb.
- Sebatang kawat yang dialiri arus listrik DC akan menghasilkan garis medan magnet disekeliling kawat dengan prinsip genggaman tangan kanan. Hukum putaran sekrup (Maxwell), ketika sekrup diputar searah jarus jam (arah medan magnet), maka sekrup akan bergerak maju (arah arus listrik DC).
- Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC mengikuti hukum tangan kanan, dimana empat jari menyatakan arah arus listrik, dan ujung jempol menyatakan arah kutub utara elektromagnetik.
- Jumlah garis gaya dalam medan magnet disebut fluksi magnetic (Ÿ), yang diukur dengan satuan Weber (Wb).
- Fluksi magnetic satu weber bila sebatang penghantar dipotongkan pada garis-garis gaya magnet selama satu detik akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) sebesar satu Volt. Weber = Volt x detik.
- Gaya gerak magnetic (Ĭ) berbanding lurus dengan jumlah belitan dan besarnya arus yang mengalir dalam belitan. Ĭ = Amper Lilit.

- Kuat medan mahnet (H) berbanding lurus dengan gaya gerak mahnet (Ĭ) dan berbanding terbalik dengan panjang lintasan (lm). H = I.N/lm.
- Kerapatan fluk magnet (B), diukur dengan Tesla (T) besarnya fluk persatuan luas penampang. B = Ɏ/A = Wb/m2 = Tesla.
- Bahan ferromagnetic bahan int dalam transformator, bahan stator motor listrik yang memiliki daya hantar magnetic (permeabilitas) yang baik.
- Ada tiga jenis media magnetic, yaitu ferromagnet, paramagnet dan diamagnet.
- Ferromagnet memiliki permeabilitas yang baik, misalnya Alnico dan permalloy dipakai pada inti transformator dan stator motor listrik.
- Paramagnet memiliki permebilitas kurang baik, contohnya aluminium, platina dan mangan.
- Diamagnet memiliki permeabilitas buruk, contohnya tembaga, seng, perak an antimony.
- Permeabilitas hampa udara perbaandingan antara kerapatan fluk magnet (B) dengan kuat medan magnet (H) pada kondisi hampa udara.
- Permeabilitas bahan magnet diperbandingkan dengan permeabilitas hampa udara yang disebut permeabilitas relative.
- Kurva Histerisis (B-H) menggambarkan sifat bahan magnet terhadap permeabilitas, remanensi dan koersivity. Bahan yang cocok untuk magnet permanen yang memiliki sifat remanensi dan koersivity yang tinggi. Sedangkan bahan yang cocok sebagai inti trafo atau stator motor yang memiliki sifat permeabilitas dan tingkat kejenuhan dari kerapatan fluk magnet yang tinggi.
- Prinsip kerja Motor Listrik berdasarkan kaidah tangan kiri Flemming,
- Hukum tangan kiri Flemming yang menyatakan jika telapak tangan kiri berada diantara kutub magnet utara dan selatan. Sebatang kawat yang dialiri arus listrik I dipotong oleh medan magnet B. Maka kawat akan mengalami torsi F searah dengan ibu jari (gambar 2.30)
- Hukum tangan kiri Flemming, besarnya Torsi F = B. L. I, dimana B meruapakan kerapatan fluk magnet. L menyatakan panjang kawat dan I besarnya arus yang melewati penghantar kawat.
- Prinsip kerja alat ukur juga berdasarkan hukum tangan kiri Flemming, dimana kumparan putar dihubungkan dengan jarum penunjuk skala meter.

- Prinsip kerja generator berdasakan hukum tangan kanan Flemming.
- Hukum tangan kanan Fleming menjelaskan prinsip pembangkitan tegangan, jika telapak tangan kanan berada pada kutub magnet utara selatan, sebatang kawat digerakkan searah ibu jari F, maka pada batang kawat akan timbul arus listrik yang searah dengan keempat telunjuk tangan kanan.
- Prinsip kerja transformator berdasarkan prinsip induksi dua belitan kawat primer dan sekunder. Jika pada belitan primer terdapat gaya magnet yang berubah-ubah, maka pada belitan sekunder terjadi induksi gaya gerak listrik.
- Besarnya tegangan induksi berbanding lurus dengan jumlah belitan kawat dan berbanding dengan perubahan medan magnet persatuan waktu ($\Delta\Phi/\Delta t$).



7.4 Tugas

Amatilah dengan menggunakan 2 buah magnet batang apakah yang terjadi jika :

1. Kutub yang senama U dengan U didekatkan?
2. Kutub yang tidak senama S dengan S didekatkan?
3. Kutub yang tidak senama didekatkan?
4. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan diatas
5. Ambilkan pasir hitam quarsa yang dapat ditarik oleh magnet, letakkan secara merata diatas kertas kemudian letakkan magnet ada dibawah kertas tersebut, amati apakah yang terjadi ?
6. Buatlah pengamatan tentang elektro magnetik, yaitu magnet yang dibuat dari batang besi dan lilitan yang dialiri arus, dengan berbeda arus nya, perhatikan kekuatan magnetnya.

7.5 Soal Tes Formatif

1) Jelaskan mengapa magnet memiliki sifat menarik besi, sedangkan logam non besi seperti aluminium dan tembaga tidak dipengaruhi magnet.
2) Magnet memiliki sifat tarik menarik dan tolak-menolak, kapan kedua sifat tersebut terjadi. Peragakan dengan menggunakan model kutub utara dan kutub selatan.
3) Besi biasa dapat dijadikan magnet dengan menggunakan prinsip elektro magnetic, jelaskan bagaimana membuat elektromagnetik dengan sumber tegangan DC dari akumulator 12 Volt.
4) Gambarkan rangkaian Bel Listrik dengan sumber listrik DC 12 Volt, dan terangkan cara kerjanya.
5) Bagaimana cara menentukan kutub utara dan selatan magnet permanen dengan bantuan sebuah kompas, jelaskan dengan gambar.
6) Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC akan menghasilkan garis gaya magnet. Peragakan dengan menggunakan tangan kanan, tentukan arah belitan kawat, arah aliran arus DC dan tentukan garis gaya magnet yang dihasilkan.
7) Peragakan didepan kelas prinsip tangan kanan Flemming, untuk menunjukkan prinsip kerja generator. Tunjukkan arah gerakan kawat, arah medan magnet yang memotong kawat dan tunjukkan arah gaya gerak listrik yang dihasilkan.
8) Peragakan didepan kelas dengan prinsip tangan kiri Flemming untuk menunjukkan cara kerja Motor Listrik. Tunjukkan arah garis medan magnet, arah aliran arus listrik DC dan arah torsi putar yang dihasilkan.
9) Belitan kawat sebanyak 1000 lilit, dialiri arus 4 A. Hitunglah a) gaya gerak magnetiknya b) jika kasus a) dipakai 2000 lilit berapa besarnya arus ?
10) Kumparan toroida dengan 1000 belitan kawat, panjang lintasan magnet 30cm, arus yang mengalir sebesar 200mA. Hitung besarnya kuat medan magnetiknya
11) Belitan kawat bentuk inti persegi 40mm x 25mm, menghasilkan kuat medan magnet sebesar 1,0 Tesla. Hitung besar fluk magnetnya.
12) Belitan kawat rongga udara memiliki kerapatan 1.000 A/m, Hitung besar fluk magnetnya, bila diketahui 0P = 1,257 . 10-6 Wb/Am.
13) Besi toroid mempunyai keliling 0,4 meter dan luas penampang 1 cm2 Toroida dililitkan kawat 800 belitan dialiri arus sebesar 100mA.`Agar



diperoleh fluk mahnet sebesar 80ʒWb pada toroida tsb. Hitung a) kuat medan magnet b) kerapatan fluk magnet c) permeabilitas absolut dan d) permeabiltas relatif besi.

14) Berdasarkan luas penampang inti 80 cm2 dan fluk magnetnya 10 mWb. Panjang lintasan inti besi 150 cm, jarak celah udara 5 mm. Hitung a) kerapatan fluk magnet pada inti besi dan tentukan besarnya gaya gerak magnet. b) Hitung besarnya gaya gerak magnet total

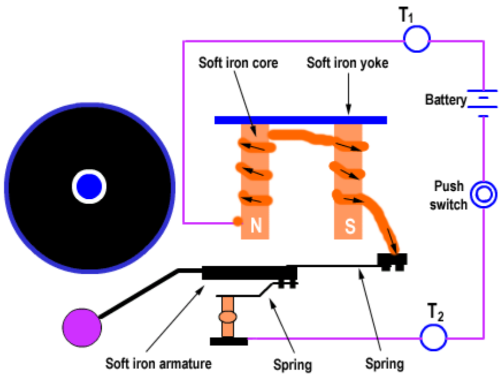
7.6 Jawaban Tes Formatif

1) Pada besi biasa sebenar nya terdapat kumpulan magnet-magnet dalam ukuran mikroskopik, tetapi posisi masing-masing magnet tidak beraturan satu dengan lainnya sehingga saling menghilangkan sifat kemagnetannya sehingga jika didekatkan pada magnet maka besi dapat tertarik oleh magnet tersebut

2) Magnet memiliki sifat tarik menarik jika kedua kutub yang tidak senama didekatkan, dan tolak-menolak, jika kedua kutub yang senama selatan.

3) Besi biasa dapat dijadikan magnet dengan menggunakan prinsip elektro magnetic, cara membuat elektromagnetik dengan sumber tegangan DC dari akumulator 12 Volt. Adalah dengan melilitkan kawat tembaga (email) pada sebatang besi dan dialiri arus listrik dari akumulator tersebut, maka batang besi tersebut akan menjadi magnet

4) Gambar rangkaian Bel Listrik dengan sumber listrik DC 12 Volt, dan saat Push swit ditekan, batang besi yang dililit oleh kawat email akan menjadi magnet, dan menarik soft iron armatur yang ujungnya ada bandul untuk memukul bel maka bel akan berbunyi, disaat tertarik hubungan listrik akan terputus , sehingga menyebabkan armatur akan kembali lagi, dan kejadian ini akan berulang terus selama push switch ditekan.



5) Bagaimana cara menentukan kutub utara dan selatan magnet permanen dengan bantuan sebuah kompas, jelaskan dengan gambar.

6) Belitan kawat yang dialiri arus listrik DC akan menghasilkan garis gaya magnet. Peragakan dengan menggunakan tangan kanan, tentukan arah belitan kawat, arah aliran arus DC dan tentukan garis gaya magnet yang dihasilkan.



7) Peragakan didepan kelas prinsip tangan kanan Flemming, untuk menunjukkan prinsip kerja generator. Tunjukkan arah gerakan kawat, arah medan magnet yang memotong kawat dan tunjukkan arah gaya gerak listrik yang dihasilkan.

8) Peragakan didepan kelas dengan prinsip tangan kiri Flemming untuk menunjukkan cara kerja Motor Listrik. Tunjukkan arah garis medan magnet, arah aliran arus listrik DC dan arah torsi putar yang dihasilkan.

9) Belitan kawat sebanyak 1000 lilit, dialiri arus 4 A. Hitunglah a) gaya gerak magnetiknya b) jika kasus a) dipakai 2000 lilit berapa besarnya arus ?

10) Kumparan toroida dengan 1000 belitan kawat, panjang lintasan magnet 30cm, arus yang mengalir sebesar 200mA. Hitung besarnya kuat medan magnetiknya

11) Belitan kawat bentuk inti persegi 40mm x 25mm, menghasilkan kuat medan magnet sebesar 1,0 Tesla. Hitung besar fluk magnetnya.

12) Belitan kawat rongga udara memiliki kerapatan 1.000 A/m, Hitung besar fluk magnetnya, bila diketahui 0P = 1,257 . 10-6 Wb/Am.

13) Besi toroid mempunyai keliling 0,4 meter dan luas penampang 1 cm2 Toroida dililitkan kawat 800 belitan dialiri arus sebesar 100mA.`Agar diperoleh fluk mahnet sebesar 80ʒWb pada toroida tsb. Hitung a) kuat medan magnet b) kerapatan fluk magnet c) permeabilitas absolut dan d) permeabiltas relatif besi.

14) Berdasarkan luas penampang inti 80 cm2 dan fluk magnetnya 10 mWb. Panjang lintasan inti besi 150 cm, jarak celah udara 5 mm. Hitung a) kerapatan fluk magnet pada inti besi dan tentukan besarnya gaya gerak magnet. b) Hitung besarnya gaya gerak magnet total

7.7 Lembar Kerja

....

....

....

....

....

....

....

....



Kegiatan Belajar 9 : APLIKASI INDUKTOR DALAM KELISTIKAN

9.1 Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini siswa dapat:

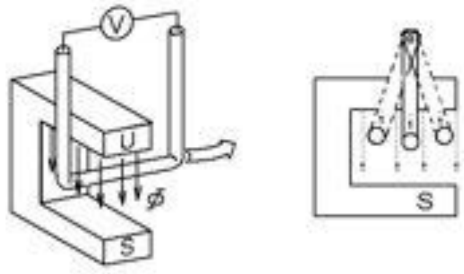
- ✓ Menyebutkan proses pembangkitan arus listrik melalui induksi
- ✓ Menyebutkan kaidah tangan kanan dalam pembangkitan tegangan induksi
- ✓ Menyebutkan rumus tegangan induksi jika diketahui jumlah lilitan dan perubahan fluks magnetnya
- ✓ Menghitung besarnya induktansi dari induktor
- ✓ Mengetahui berbagai bentuk induktor sesuai dengan konstruksinya dan aplikasinya
- ✓ Mengetahui proses pengisian dan pengosongan kapasitor
- ✓ Menghitung hubungan seri dari beberapa induktor dengan nilai total dari induktor tersebut
- ✓ Menghitung hubungan paralel dari beberapa induktor dengan nilai total dari induktor tersebut
- ✓ Menghitung tegangan sesaat dari induktor jika diberikan tegangan DC saat pengisian dan pengosongan



9.2 Uraian Materi
9.1 Induksi

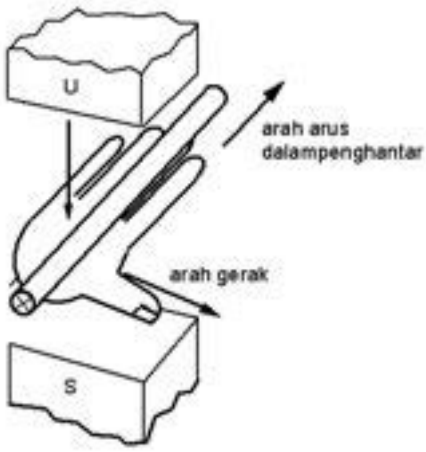
Pada bahasan sebelumnya talah dibahas bagaimana arus listrik dapat menghasilkan efek magnet. Bagaimana kebalikan dari proses ini,apakah dari medan magnet dapat membangkitkan arus listrik?

Percobaan untuk ini telah dilakukan oleh Michael Faraday (1791-1867) telah membuktikan hal tersebut. Listrik yang dihasilkan oleh medan magnet disebut induksi tegangan. Hukum induksi ini diberi nama sesuai nama penemunya, yaitu hukum Faraday.



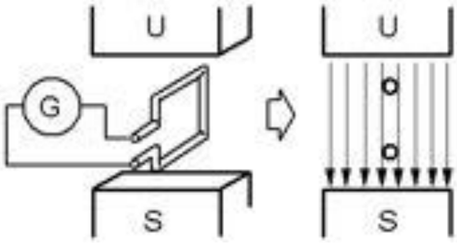
Gambar 9.1 Prinsip pembangkitan arus listrik

Bila penghantar digerakkan dalam medan magnet maka akan terbangkit tegangan induksi,lihat *Gambar 9.1*.



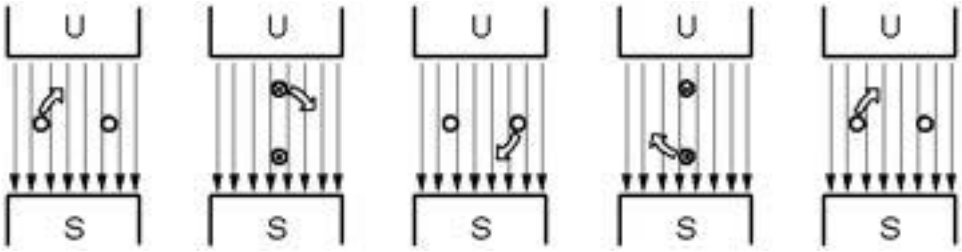
Gambar 9.2 Kaidah Tangan Kanan

Arah arus dalam penghantar dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan. Seperti Gambar 9.2 , medan magnet dari kutub U menuju kutub S. Arah gerak penghantar ditunjukkan oleh ibu jari. Maka arah arus sesuai ditunjukkan jari jari yang lain.

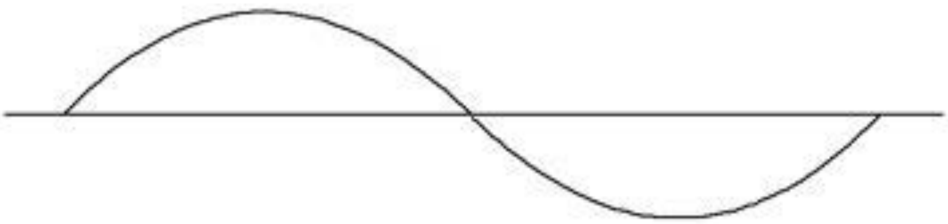


Gambar 9.3 Prinsip generator

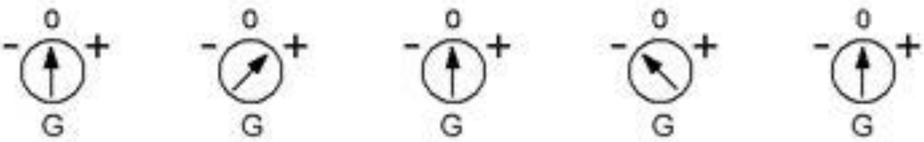
Prinsip sebuah generator diperlihatkan pada Gambar 9.3, penampang potongan diperlihatkan pada gambar kanan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9.4 (a) Posisi kumparan dalam medan magnet (b)Tegangan yang dibangkitkan dilihat dengan CRO (c) Tegangan yang dibangkitkan dilihat dengan Galvanometer

Tegangan keluaran yang terukur dengan CRO terlihat pada Gambar 9.4 (b) sedang yang terukur galvanometer terlihat pada Gambar 9.4 (c). Pada saat kumparan melintang medan magnet, tegangan yang dibangkitkan masih nol volt. Ketika kumparan diputar ke kanan, tegangan naik dan mencapai



puncaknya saat kumparan tegak lurus. Pada putaran selanjutnya, saat kumparan melintang, tegangan akan nol dan menjadi maksimum pada saat putaran berikutnya. Pada saat ini kumparan tegak lurus dengan garis medan, tegangan bernilai maksimum tetapi dengan arah yang berlawanan.

Dengan demikian terbangkitlah tegangan induksi arus bolak balik. Jika diinginkan tegangan arus searah maka dapat digunakan komutator untuk membalik arah arus.

$$u_i = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$[u_i] = \frac{Vs}{s} = V$$

u_i = tegangan induksi
N = jumlah lilitan
$\Delta\phi$ = perubahan fluks
Δt = perubahan waktu

Pada saat kumparan diputar, akan terbangkit tegangan induksi. Dengan adanya beban maka akan ada aliran arus, maka disekeliling penghantar akan terbangkit medan magnet. Medan magnet yang terbangkit disekeliling penghantar bersama dengan medan magnet dari kutub akan membangkitkan gerak, arah geraknya berlawanan dengan gerak yang menggerakkan kumparan tadi. Sehingga gerakan generator akan teredam, kejadian ini dikenal dengan hukum Lenz.

9.2 Induktansi

Besarnya perubahan fluks tergantung dari data lilitan antara lain permeabilitas lilitan,penampang lilitan A serta panjang garis medan l . Besaran ini yang menyebabkan terbangkitnya tegangan induksi melalui induksi sendiri (*self induction*) dalam sebuah lilitan. Data lilitan dirangkum dalam *konstanta lilitan*. Tegangan induksi yang terbangkit dari induksi sendiri diperoleh sesuai hokum induksi :

$$v_i = -N \frac{\mu_o \cdot \mu_r \cdot A}{\ell} \cdot N \cdot A_L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$= -N^2 \cdot A_L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

dengan $N^2 \cdot A_L = L$ maka

$v_i \quad = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$

$L \quad = N^2 \cdot A_L$

$$[L] = \frac{Vs}{A} = H$$

v_i =tegangan induksi

N =jumlah lilitan

A_L =konstanta lilitan

ΔI =perubahan kuat arus

Δt =perubahan waktu

L =induktansi

Hasil kali $N^2 \cdot A_L$ disebut sebagai induktansi L dari lilitan. Dengan satuan Volt detik/Amper dengan satuan khusus Henry (H), diambil dari nama seorang ahli fisika dari Amerika.

Jadi sebuah lilitan dikatakan memiliki induktansi 1 Henry jika terdapat perubahan kuat arus sebesar 1 Ampere dalam 1 detik terinduksi tegangan 1 Volt.

Contoh :

Berapa besar induktansi sebuah kumparan dengan 600 lilitan dengan konstanta lilitan A_L=1250nH?

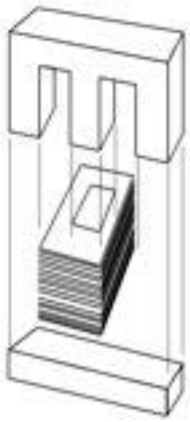
Jawab :

$L = N^2 \cdot A_L = 600^2 \cdot 1250 \frac{nV_s}{A} = 0{,}45H$

9.3 Konstruksi Induktor

Induktor dalam bentuknya dapat dalam banyak rupa, ada yang memiliki inti maupun tidak berinti. Untuk yang tidak berinti memiliki inti dari udara. Sedang induktor yang memiliki inti, dalam banyak hal terbuat dari ferit juga dari bahan lainnya sesuai dengan tujuan penggunaan.





Gambar 9.5. Kumparan dengan inti E I

Pada gambar 9.5 diperlihatkan kumparan dengan inti EI, disebut E dan I karena bentuk inti menyerupai huruf E dan I. Kunstruksi ini digunakan untuk transformator. Inti bisa dari ferit, untuk transformator dengan frekuensi kerja tinggi. Inti terbuat dari 'plat dinamo' digunakan untuk transformator berfrekuensi rendah.



Gambar 9.6. Kumparan pembelok

Kumparan untuk membelokkan sinar pada CRT dengan inti dari ferit berbentuk menurut bentuk tabung CRT (Gambar 1.140).

Untuk keperluan rangkaian elektronik,seperti pada penerima radio, digunakan induktansi dengan bentuk-bentuk tertentu. Pada Gambar 9.6 menampilkan bentuk-bentuk induktasi tersebut.

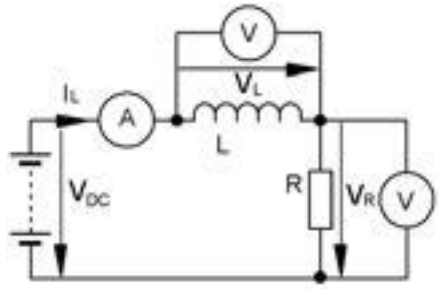
Untuk identifikasi dapat berupa kode warna seperti pada resistor, kode angka atau tertulis secara jelas pada badan induktansi.



Gambar 9.7. Beberapa contoh Induktor

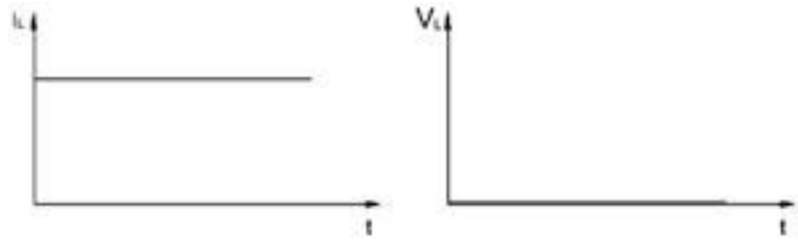
9.4 Induktor dalam Arus Searah

Induktor dirangkai seperti Gambar 9.8. berikut



Gambar 9.8 Induktor dalam Arus Searah

Dalam kondisi jauh setelah pensaklaran, maka Voltmeter dan Ampermeter menunjukkan seperti grafik pada Gambar 9.9 berikut ini:



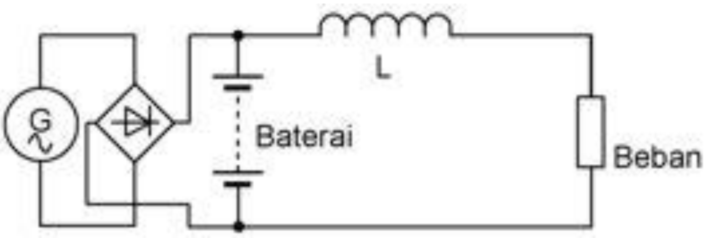
(a) (b)

Gambar 9.9 (a) Arus dan (b) Tegangan Induktor

Ampermeter menunjukkan arus rangkaian, yang dalam hal ini juga arus induktor, menunjukkan harga tertentu yang konstan, dan Voltmeter pada induktor menunjukkan harga mendekati 0 Volt. Ini menunjukkan perubahan rate arus (di/dt) sama dengan nol,karena arusnya stabil.

Dengan tegangan V_L=0V maka nilai resistansinya akan sama dengan 0Ω. Karena R= V_L/I_L=0/I_L=0Ω.

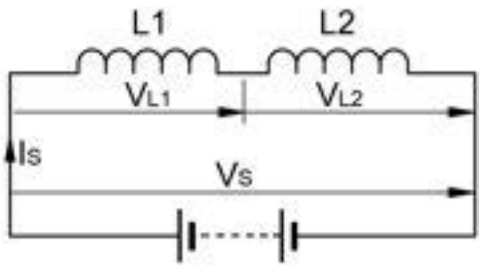
Dari sifat ini dalam aplikasinya induktor digunakan pula untuk filter pada tape mobil, yang disambung seri antara baterai dengan tape mobil (Gambar 1.144). Induktor akan melalukan tegangan DC dan menghadang tegangan AC yang timbul dalam kendaraan.



Gambar 9.10 Aplikasi induktor

9.5 Rangkaian Induktor

Dua atau lebih induktor dapat dirangkai dalam rangkaian seri maupun paralel. Gambar 9.10 memperlihatkkan induktor dalam rangkaian seri



Gambar 9.11 Induktor dalam rangkaian seri

Tegangan $V_{L1}=-L1\cdot\frac{\Delta i}{\Delta t}$

dan $V_{L2}=-L2\cdot\frac{\Delta i}{\Delta t}$

Dan $V_S+U_{L1}+V_{L2}=0$,

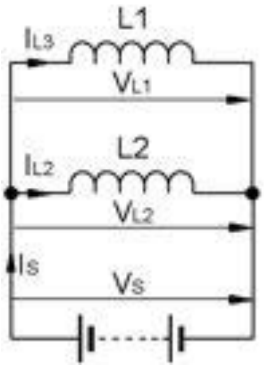
Sehingga $V_S=\frac{\Delta i}{\Delta t}\cdot(V_{L1}+V_{L2})$

Jika Lt merupakan induktor total maka

$V_S=\frac{\Delta i}{\Delta t}\cdot(L_t)$

sehingga L_t=L1+L2

Terlihat rumusan ini sama dengan pada rumusan resistor yang dihubung seri.



Gambar 9.12 Induktor dalam rangkaian paralel

Pada rangkaian paralel seperti diperlihatkan pada Gambar 9.12, arus Is sama dengan jumlah arus yang mengalir pada masing-masing cabang.

$I_S+I_{L1}+I_{L2}=0$

$I_S= I_{L1}+I_{L2}$

$\frac{\Delta i_1}{\Delta t}=\frac{V_S}{L_1}$; $\frac{\Delta i_2}{\Delta t}=\frac{U_S}{L2}$ dan

$\frac{\Delta i_S}{\Delta t}=\frac{\Delta i_1}{\Delta t}+\frac{\Delta i_2}{\Delta t}=V_S\cdot(\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2})$

jika L_t merupakan induktansi total,maka

$\frac{\Delta i_S}{\Delta t}=\frac{V_S}{L_t}=V_S\cdot(\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2})$

sehingga

$\frac{1}{L_t}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}$

terlihat rumusannya sama dengan pada resistor yang dirangkai paralel.

Contoh : Tiga buah induktor masing-masing 100mH,250mH dan 500mH dirangkai seri. Berapa besar induktansi totalnya dan berapa tegangan pada masing-masing induktor jika rangkaian tersebut diberi tegangan 6V?

Jawab :

L_t =100mH+250mH+500mH=850mH

Kuat arus yang mengalir I_s=6V/850mH=7mA/s

V_{L1} =7mA/s·100mH=0,7V

V_{L1} =7mA/s·250mH=1,75V

V_{L1} =7mA/s·500mH=3,5V

Contoh : Tiga buah induktor masing-masing 100mH,250mH dan 500mH dirangkai paralel. Berapa besar induktansi?

Jawab :

$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3}$$

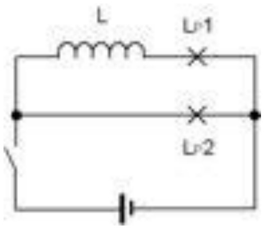
$$= \frac{1}{100mH} + \frac{1}{250mH} + \frac{1}{500mH}$$

$$= \frac{5}{500mH} + \frac{2}{500mH} + \frac{1}{500mH} =$$

$$L_t = \frac{500mH}{8} = 62{,}5mH$$

9.6 Pengisian dan Pengosongan Induktor

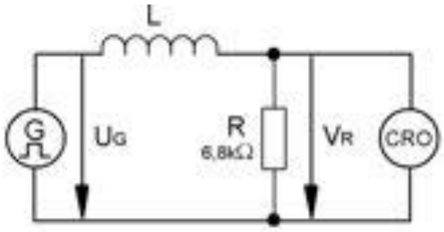
Induktor dirangkai seperti gambar berikut dengan kumparan dengan jumlah 600 llilit. Lalu diamati kedua lampu, lampu manakah yang menyala lebih dahulu (9.13)?



Gambar 9.13. Induktor dalam arus searah

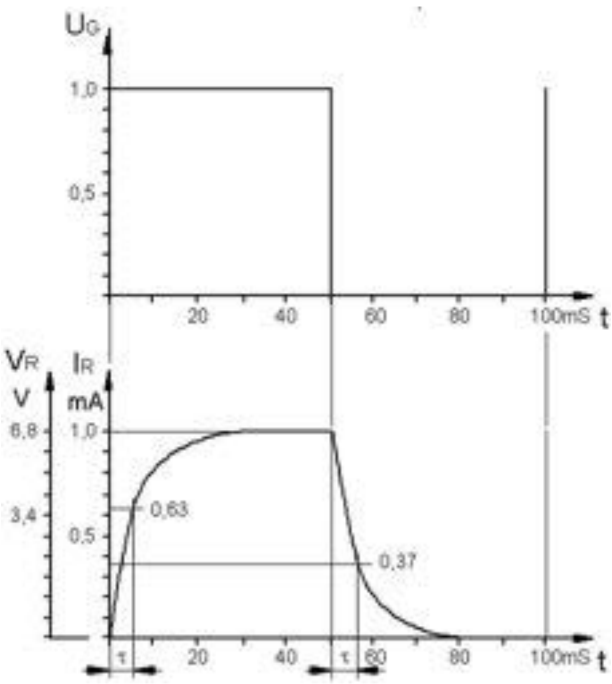
Ternyata lampu yang dirangkai seri dengan induktor akan menyala belakangan. Artinya nyala L_P1 tertunda.

Untuk mengamati kejadian tadi dapat dilakukan dengan rangkaian seperti dalam Gambar 9.14 berikut.



Gambar 9.14 Rangkaian LR

Generator dengan gelombang kotak mensimulasikan tegangan arus searah yang di"*on-off*"kan. Dari hasil percobaan tegambar di layar CRO yang digambarkan pada Gambar 1.149.



Gambar 9.15 Pengisian Pengosongan Induktor

Pada gambar 9.15 menggambarkan pada t = 0-50ms tegangan arus searah "*on*" dan dari t = 50-100ms tegangan arus searah pada posisi "*off*". Pada tegangan U_R, dimana arusnya juga serupa dengan U_R ini, terlihat adanya waktu tunda sebelum U_R mencapai nilai maksimumnya. Pada proses naik maupun turun mempunyai fungsi eksponensial.

Pada proses "*on*" $i = \frac{V_G}{R} \cdot \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$

Pada proses "*off*" $i = \frac{V_G}{R} \cdot e^{-t/\tau}$



i =kuat arus

V_G =tegangan arus searah

R =resistor

T =waktu

τ =konstanta waktu

Percobaan diatas diulangi dengan mengganti resistor menjadi 2,7kΩ

Maka kenaikan arus semakin cepat, sehingga bentuknya menjadi lebih landai.

Ini memperlihatkan bahwa konstanta waktu τ dari rangkaian berubah. Konstanta waktu τ adalah waktu digunakan naik/turunnya arus dimana perubahannya masih linier setelah proses "*on*" maupun "*off*".

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$[\tau] = \frac{Vs/A}{V/A} = s$$

τ=konstanta waktu

L=induktor

R=resistor

Pada saat t=τ setelah proses "*on*" arus mencapai 63% dari kuat arus maksimum. Sedang pada t= τ setelah proses "*off*"kuat arusnya 37% dari maksimum.

Contoh : Sebuah induktor sebesar 100mH dihubung seri dengan resistor 4,7kΩ, dibila dipasang pada sumber tegangan 12V berapa besar konstanta waktunya dan berapa kkuat arus pada saat 10μs setelah saklar "*on*"?

Jawab : τ = L/R = 100mH/4,7kΩ=21,27μs

$$i = \frac{V}{R}\cdot(1-\exp(-t/\tau))$$

$$= \frac{12V}{4{,}7k\Omega}\cdot(1-\exp(-10\mu s/21{,}27\mu s))$$

=0,957mA



9.3 Rangkuman

- ✓ Induktansi merupakan sifat sebuah rangkaian listrik atau komponen yang menyebabkan timbulnya ggl di dalam rangkaian sebagai akibat perubahan arus yang melewati rangkaian (self inductance) atau akibat perubahan arus yang melewati rangkaian tetangga yang dihubungkan secara magnetis (induktansi bersama atau mutual inductance)

- ✓ Dengan aturan tangan kanan dapat diketahui arah medan listrik terhadap arah arus listrik. Caranya sederhana yaitu dengan mengacungkan jari jempol tangan kanan sedangkan keempat jari lain menggenggam. Arah jempol adalah arah arus dan arah ke empat jari lain adalah arah medan listrik yang mengitarinya.

- ✓ Ggl terinduksi ini berlawanan arah dengan perubahan fluks. Jika arus yang melalui kumparan meningkat, kenaikan fluks magnet akan menginduksi ggl dengan arah arus yang berlawanan dan cenderung untuk memperlambat kenaikan arus tersebut.

- ✓ Energi pada induktor tersebut tersimpan dalam medan magnetiknya. Berdasarkan persamaan bahwa besar induktansi solenoida setara dengan $B = \mu_0.N^2.A/l$, dan medan magnet di dalam solenoida berhubungan dengan kuat arus I dengan $B = \mu_0.N.I/l$,

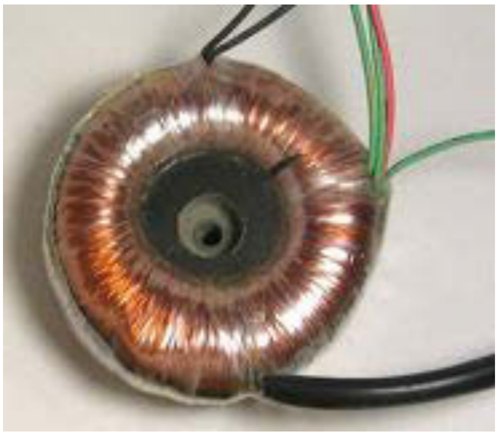
- ✓ Energi yang tersimpan dalam induktor (kumparan) tersimpan dalam bentuk medan magnetik. Energi U yang tersimpan di dalam sebuah induktansi L yang dilewati arus I

- ✓ Induktansi bersama diterapkan dalam transformator, dengan memaksimalkan hubungan antara kumparan primer dan sekunder sehingga hampir seluruh garis fluks melewati kedua kumparan tersebu



9.4 Tugas

Berikut ini adalah berbagai bentuk induktor , carilah nama spesifik dan dan informasi lain yang berkaitan dengan jenis/ model induktor tersebut

1. 
2. 
3. 
4. 
5. 

6. 

7. 



9.5 Soal Tes Formatif

1. Sebuah kumparan mempunyai induktansi diri 2,5 H. Kumparan tersebut dialiri arus searah yang besarnya 50 mA. Berapakah besar ggl induksi diri kumparan apabila dalam selang waktu 0,4 sekon kuat arus menjadi nol?
2. Sebuah induktor terbuat dari kumparan kawat dengan 50 lilitan. Panjang kumparan 5 cm dengan luas penampang 1 cm^2. Hitunglah:
   a. induktansi induktor,
   b. energi yang tersimpan dalam induktor bila kuat arus yang mengalir 2 A!
3. Tiga buah induktor masing-masing 100mH,250mH dan 500mH dirangkai seri. Berapa besar induktansi totalnya dan berapa tegangan pada masing-masing induktor jika rangkaian tersebut diberi tegangan 6V?

9.6 Jawaban Tes Formatif

Nomor 1.

Diketahui:

L = 2,5 H Δt = 0,4 s

I_1 = 50 mA = 5×10^{-2} A

I_2 = 0

Ditanya: ε = ... ?

Pembahasan :

$$\varepsilon = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -2,5\left[\frac{0-(5\times10^{-2})}{0,4}\right] = (-2,5)(-0,125) = 0,31 \text{ volt}$$

Nomor 2

a. Induktansi induktor (L)

$$L = \frac{\mu_0 . N^2 . A}{l} = \frac{(4\pi\times10^{-7})(50)^2(10^{-4})}{5\times10^{-2}} = \frac{100\pi\times10^{-9}}{5\times10^{-2}} = 62,8\times10^{-7} \text{ H} = 6,28 \ \mu\text{H}$$

b. Energi yang tersimpan jika I = 2 A

$$U = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}(6,28\times10^{-6})(2^2) = 12,56\times10^{-6} \text{ J} = 12,56 \ \mu\text{J}$$



Nomor 3

L_t =100mH+250mH+500mH=850mH

Kuat arus yang mengalir I_s=6V/850mH=7mA/s

V_{L1} =7mA/s·100mH=0,7V

V_{L1} =7mA/s·250mH=1,75V

V_{L1} =7mA/s·500mH=3,5V

9.7 Lembar Kerja
Rangkaian Pengisian dan pengosongan Indukor

Tujuan Praktek

Setelah melakukan praktek diharapkan peserta didik dapat

- ✓ Mengukur induktansi dari 2 Induktor yangdihubungkan seri
- ✓ Mengukur induktansi dari 2 Induktor yangdihubungkan paralel
- ✓ Merangkai hubungan seri antara resistor dan Induktortor
- ✓ Melakukan pengukuran dengan Oscilloscope proses pengisian dan pengosongan pada L
- ✓ Menyimpulkan hasil praktek

Alat dan Bahan

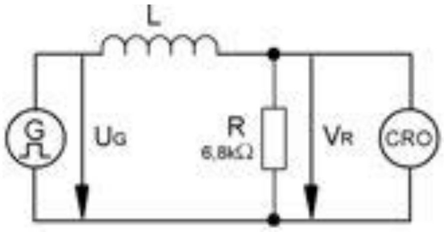
- ✓ Bread Board
- ✓ Resistor 10 kΩ
- ✓ Induktor 100 mH
- ✓ Function generator
- ✓ Kabel Jumper 0,5 mm
- ✓ Kabel konektor dari power supply ke breadboard

Keselamatan Kerja:

- ✓ Jangan menghidupkan Oscilloscope dan Function Generator terlebih dahulu sebelum rangkaian siap
- ✓ Tunjukkan ke Guru, Instruktor sebelum memulai pengamatan dan pengukuran

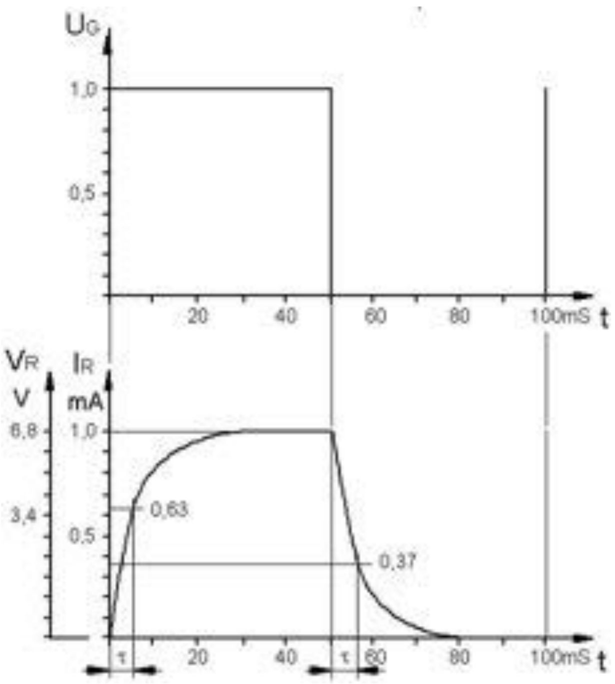
Langkah Kerja:

- ✓ Buatlah rangkaian seperti dibawah ini, rangkaian seri antara Resistor dan Induktor

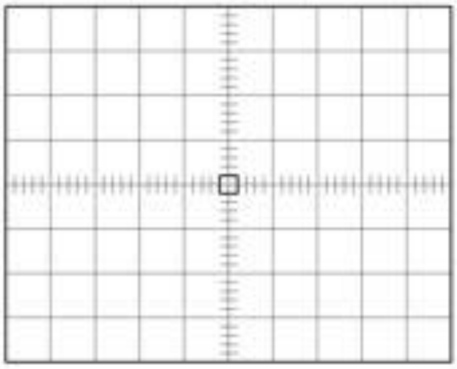


- ✓ Sambungkan probe oscilloscope dengan titik tengan pertemuan antara R dan L dan GND pada minus
- ✓ Atur Time/ Div sehingga gambar yang ditampilkan terdapat 1 sampai 3 gelombang
- ✓ Atur function generator pada frekwensi 1Khz dan gambarkan gelombang pada tempat yang disediakan.
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan merubah frekwensi 500 hz, dan gambarkan bentuk gelombang pada tempat yang disediakan.

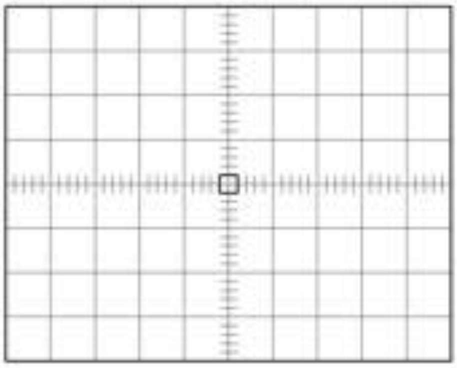
Generator dengan gelombang kotak mensimulasikan tegangan arus searah yang di"*on-off*"kan. Dari hasil percobaan tergambar di layar CRO yang digambarkan pada Gambar dibawah.



Gambar Grafik pengisisan dan pengosongan Induktor saat frekwensi 1Khz R= 10kΩ dan L = 100mH



Gambar Grafik pengisisan dan pengosongan Induktor saat frekwensi 500hz, R= 10kΩ dan L = 100mH



PERTANYAAN:

Perhatikan ke dua gambar diatas dengan menggunakan R dan L yang sama dan frekwensi yang berbeda, manakah yang lebih cepat pengisian dan pengosongan dari kedua frekwensi tersebut?

KESIMPULAN:



Kegiatan Belajar 10 : ELEKTRO KIMIA

10.1 Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini siswa dapat:

- Menyebutkan sumber energi listrik yang bersumber pada proses kimia
- Menjelaskan perbedaan akumulator antara sel baterai dan kapasitor
- Menjelaskan bagian bagian dari elemen sel elektro kimia yang berupa akumulator Aki
- Menjelaskan bagian bagian dari elemen sel elektro kimia yang berupa akumulator sel kering (baterai)
- Menjelaskan tipe baterai dari elemen sel elektro kimia yang ada di pasaran.
- Menjelaskan proses kimia terbangkitnya listrik dari baterai kering
- Menjelaskan proses pengisian dari baterai basah secara reaksi kimia yang dialami oleh elektroda dan cairan kimianya
- Menjelaskan proses pengosongan dari baterai basah secara reaksi kimia yang dialami oleh elektroda dan cairan kimianya
- Menjelaskan bagian bagian dan komponen pembentuk fuelcell
- Menjelaskan reaksi kimia yang terjadi pada fuelcell
- Menjelaskan proses terbentuknya energi listrik dari fuelcell
- Menjelaskan kelebihan dan kekurangan energi listrik yang dihasilkan dari proses fuelcell



10.2 Uraian Materi

10.1 Tipe Baterai berdasarkan Klasifikasinya

Istilah akkumulator berasal dari istilah asing “Accumuleren” yang mempunyai arti mengumpulkan atau menyimpan. Akkumulator (accu, aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Pada umumnya, khususnya di Indonesia, akkumulator hanya dimengerti sebagai “baterai atau akku atau aki” yang biasa digunakan pada kendaraan bermotor. Sedangkan dalam bahasa Inggris, kata akkumulator dapat mengacu kepada baterai, kapasitor, atau lainnya yang berkaitan dengan suatu benda yang dapat menyimpan muatan listrik dan dapat dilakukan pengisian ulang setelah muatan listrik tersebut habis setelah pemakaian.

Accu atau aki (accumulattor) merupakan salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor, mobil, motor ataupun generator listrik yang dilengkapi dengan dinamo stater. Selain menggerakkan motor starter dan sumber tenaga penerangan lampu kendaraan di malam hari, aki juga penyimpan listrik dan penstabil tegangan serta mensuplai kebutuhan arus listrik pada kendaraan

Akiterdiri dari beragam jenis, secara umum di pasaran kita mengenal dua jenis aki, aki basah dan aki kering, dan lebih detail lagi jenis-jenis aki sebagai berikut:

- aki basah konvensional
- aki hybrid
- aki kalsium
- aki bebas perawatan/maintenance free (MF)
- aki sealed

10.1.1 Aki Basah

Hingga saat ini aki yang populer digunakan adalah aki model basah yang berisi cairan asam sulfat (H_2SO_4). Ciri utamanya memiliki lubang dengan penutup yang berfungsi untuk menambah air aki saat ia kekurangan akibat penguapan saat terjadi reaksi kimia antara sel dan air aki. Sel-selnya menggunakan bahan timbal (Pb).



Gambar 10.1 Accu Basah

Kelemahan aki jenis ini adalah pemilik harus rajin memeriksa ketinggian level air aki secara rutin.Cairannya bersifat sangat korosif. Uap air aki mengandung hydrogen yang cukup rentan terbakar dan meledak jika terkena percikan api.Memiliki sifat self-discharge paling besar dibanding aki lain sehingga harus dilakukan penyetrumanulang saat ia didiamkan terlalu lama.

10.1.2 Accu Hybrid

Pada dasarnya aki hybrid tak jauh berbeda dengan aki basah. Bedanya terdapat pada material komponen sel aki. Pada aki hybrid selnya menggunakan low-antimonial pada sel (+) dan kalsium pada sel (-). Aki jenis ini memiliki performa dan sifat self-discharge yang lebih baik dari aki basah konvensional.



Gambar 10.2 Accu Hybrid

10.1.3 Accu Calcium

Kedua selnya, baik (+) maupun (-) mengunakan material kalsium. AKi jenis ini memiliki kemampuanlebih baik dibanding aki hybrid. Tingkat penguapannya pun lebih kecil dibanding aki basah konvensional.



Gambar 10.3 Accu Calsium

10.1.4 Accu Bebas Perawatan/Maintenance Free (MF)

Aki jenis ini dikemas dalam desain khusus yang mampu menekan tingkat penguapan air aki. Uap aki yang terbentuk akan mengalami kondensasi sehingga dan kembali menjadi air murni yang menjaga level air aki selalu pada kondisi ideal sehingga tak lagi diperlukan pengisian air aki..

Aki MF ini sebenarnya masih menggunakan bahan dasar yang sama, yaitu timbel alias PB. Namun, sebagai penghantarnya, bukan lagi menggunakan Sb alias antimon. "Pada aki MF, penghantarnya menggunakan calsium. Makanya disebut PbCa,"



Gambar 10.4 Accu MF

10.1.5 Accu Sealed (aki tertutup)

Aki jenis ini selnya terbuat dari bahan kalsium yang disekat oleh jaring berisi bahan elektrolitberbentuk gel/selai. Dikemas dalam wadah tertutup rapat.Akijenis ini kerap dijuluki sebagai aki kering. Sifat elektrolitnya memiliki kecepatan penyimpanan listrik yang lebih baik.



Gambar 10.5 Accu Sealed (aki tertutup)

Karena sel terbuat dari bahan kalsium, aki ini memiliki kemampuan penyimpanan listrik yang jauh lebih baik seperti pada aki jenis calsium pada umumnya. Pasalnya ia memiliki self-discharge yang sangat kecil sehingga aki sealed ini masih mampu melakukan start saat didiamkan dalam waktu cukup lama.

Kemasannya yang tertutup rapat membuat aki jenis ini bebas ditempatkan dengan berbagai posisi tanpa khawatir tumpah. Namun karena wadahnya tertutup rapat pula aki seperti ini tidak tahan pada temperatur tinggi sehingga dibutuhkan penyekat panas tambahan jika ia diletakkan di ruang mesin

10.2 Reaksi Kimia Pada Sel Basah

Akumulator sering juga disebut aki. Elektrode akumulator baik anode dan katode terbuat dari timbal berpori. Bagian utama akumulator, yaitu :

1. Kutup positif (anode) terbuat dari timbal dioksida (PbO2)
2. Kutub negatif (katode) terbuat dari timbal murni (Pb)
3. Larutan elektrolit terbuat dari asam sulfat (H2SO4) dengan kepekatan sekitar 30%

Lempeng timbal dioksida dan timbal murni disusun saling bersisipan akan membentuk satu pasang sel akumulator yang saling berdekatan dan dipisahkan oleh bahan penyekat berupa isolator. Beda potensial yang dihasilkan setiap satu sel akumulator 2 volt sehingga pada akumulator 12 volt tersusun dari 6 pasang sel akkumulator yang disusun seri. Kemampuan akumulator dalam mengalirkan arus listrik disebut dengan kapasitas akumulator



yang dinyatakan dengan satuan Ampere Hour (AH). 50 AH artinya akkumulator mampu mengalirkan arus listrik 1 ampere dan dapat bertahan selama 50 jam tanpa pengisian kembali. Dalam garis besarnya akkumulator memiliki cara atau prinsip kerja sebagai berikut :

PENGOSONGAN (PEMAKAIAN)

Pada saat akumulator digunakan, terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan terjadi perubahan anode, katode dan elektrolitnya. Pada anode, secara perlahan terjadi perubahan yaitu timbal dioksida (PbO_2) menjadi timbal sulfat ($PbSO_4$). Begitu pula yang terjadi pada katode adalah secara perlahan-lahan timbal murni (Pb) menjadi timbal sulfat ($PbSO_4$). Adapun pada larutan elektrolit terjadi perubahan, yaitu asam sulfat pekat menjadi encer, karena pada pengosongan akumulator terbentuk air (H_2O). Reaksi kimia pada akkumulator yang dikosongkan (dipakai) adalah sebagai berikut :

- Pada elektrolit : $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$
- Pada anode : $PbO_2 + 2H^+ + 2e + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$
- Pada katode : $Pb + SO_4^{2} \rightarrow PbSO_4$

Terbentuknya air pada reaksi kimia di atas menyebabkan kepekatan asam sulfat berkurang, sehingga mengurangi massa jenisnya. Jika hal itu terjadi, maka kedua kutub akan memiliki potensial sama dan arus listrik berhenti mengalir. Keadaan ini dikatakan akkumulator kosong (habis).

PENGISIAN

Akkumulator yang telah habis (kosong) dapat diisi kembali, karena itulah akkumulator disebut juga dengan elemen sekunder. Untuk melakukan pengisian diperlukan sumber tenaga listrik arus searah lain yang memiliki beda potensial sedikit lebih besar. Misalnya akku 6 volt kosong harus disetrum dengan sumber arus yang tegangannya sedikit lebih besar dari 6 volt. Kutub positif sumber tegangan dihubungkan dengan kutub positif akumulator, dan kutub negatif sumber tegangan dihubungkan dengan kutub negatif akumulator. Dengan cara tersebut elektron-elektron pada akumulator dipaksa kembali ke elektrode akumulator semula, sehingga dapat membalik reaksi kimia pada kedua elektrodenya.

Proses pengisian dapat berjalan dengan baik apabila arus searah yang diberikan memiliki ripple yang cukup tinggi untuk mempermudah proses kimia (pelepasan elektron) dalam kepingan-kepingan elektroda. Selain itu,

penggunaan arus pengisian yang relatif kecil dengan waktu pengisian lama dapat diperoleh hasil pengisian yang lebih baik dan memperpanjang umur pakai akkumulator. Besarnya arus pengisian dapat diatur dengan reostat. Pada saat pengisian terjadi penguapan asam sulfat, sehingga menambah kepekatan asam sulfat dan permukaan asam sulfat turun. Oleh sebab itu, pada akumulator perlu ditambahkan air murni (H_2O) kembali. Reaksi kimia yang terjadi saat akkumulator diisi adalah :

- Pada elektrolit : $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$
- Pada anode : $PbSO_4 + SO_4^{2-} + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + 2H_2SO_4$
- Pada katode : $PbSO_4 + 2H^+ \rightarrow Pb + H_2SO_4$

Jadi pada saat pengisian akkumulator, pada prinsipnya mengubah kembali anode dan katode yang berupa timbal sulfat ($PbSO_4$) menjadi timbal dioksida (PbO_2) dan timbal murni (Pb), atau terjadi proses " Tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga kimia listrik di dalam akkumulator dan kemudian disimpan di dalamnya."

Dalam pembuatan akkumulator ada beberapa hal yang harus diperhatikan pertama, bahan yang digunakan harus mudah menggabungkan diri secara atomik atau molekuler dengan zat-zat kimia lain atau dengan kata lain, yang mudah *di-oxidir.* Kedua, bahan tersebut harus mudah melepaskan lagi atom atau molekul oksigen yang telah menyatu dengannya, atau mudah *di-reduksir.*Ketiga yang tidak kalah penting, bahan yang dipergunakan harus mudah didapat di alam dan murah harganya. Pilihan akhirnya jatuh pada logam yang murah dan mudah didapat di alam yaitu timbal (PbO) dan timbal oksida (PbO_2). Dengan alasan-alasan itulah akkumulator (akku, aki, accu) dewasa ini sangat populer digunakan dalam berbagai keperluan.

10.3. Struktur Sel (Akumulator)

Berikut ini bagian-bagiannya:

1. Kotak aki : Berfungsi sebagai rumah atau wadah dari komponen aki yang terdiri atas cairan aki, pelat positif dan pelat negatif berikut separatornya.
2. Tutup aki: Berada di atas, tutup aki berfungsi sebagai penutup lubang pengisian air aki ke dalam wadahnya. Sehingga aki tidak mudah

tumpah. Di aki kering tertentu tidak ada komponen ini. Kalaupun ada tidak boleh dibuka.

3. Lubang ventilasi : Untuk tipe konvensional ada di samping atas dan ada slangnya. Berfungsi untuk memisahkan gas hydrogen dari asam sulfat serta sebagai saluran penguapan air aki. Sedang tipe MF, gas hydrogen dikondisikan lagi menjadi cairan sehingga tidak dibutuhkan lubang ventilasi.

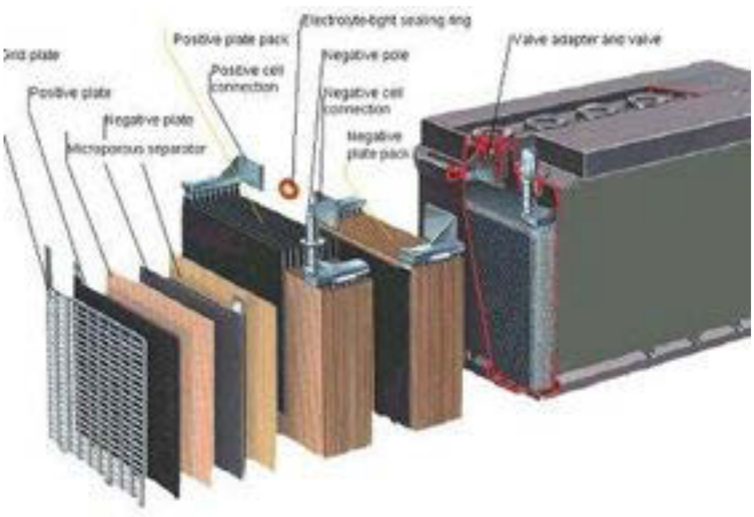
4. Pelat logam: Terdiri dari pelat positif dan negatif. Untuk pelat positif dibuat dari logam timbel preoksida (PbO2). Sedangkan pelat negatif hanya dibuat dari logam timbel (Pb).

5. Air aki: Dibuat dari campuran air (H2O) dan asam sulfat (SO4).

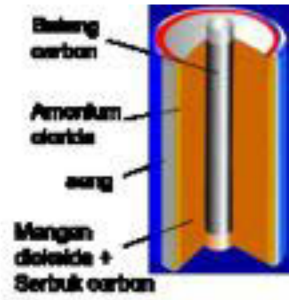
6. Separator: Berada di antara pelat positif dan negatif, separator bertugas untuk memisahkan atau menyekat pelat positif dan negatif agar tidak saling bersinggungan yang dapat menimbulkan short alias hubungan arus pendek.

7. Sel: Adalah ruangan dalam wadah bentuk kotak-kotak yang berisi cairan aki, pelat positif dan negatif berikut seperatornya.

8. Terminal aki: Keduanya berada di atas wadah, karena merupakan ujung dari rangkaian pelat-pelat yang nantinya dihubungkan ke beban arus macam lampu dan lainnya. Bagian ini terdiri dari terminal positif dan juga negatif.



Gambar 10.6Bagian bagian Accu



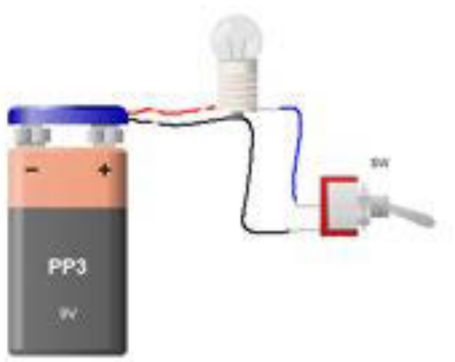
Gambar 10.7Bagian bagian Baterai kering

10.4. Gaya Gerak Listrik (GGL) dan Baterai

Untuk memperoleh arus yang konstan dalam konduktor, diperlukan sumber penghasil energi listrik yang konstan. Alat yang menyalurkan energi listrik disebut sumber gaya gerak listrik atau disingkat sumber ggl (atau EMF ≡ electromotive force). Sumber ggl mengubah energi kimia, energi mekanik atau bentuk energi lainnya menjadi energi listrik. Contohnya adalah baterai yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebuah generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Suatu baterai ideal adalah sumber ggl yang menjaga beda potensialnya tetap antar kedua terminalnya, tidak bergantung pada laju aliran muatan antara mereka. Beda potensial antar terminal baterai ideal besarnya sama dengan ggl baterai.

Pernahkah memerhatikan tulisan 1,5 V pada baterai, atau 6 V dan 12 V pada akumulator? Besaran 1,5 V, 6 V atau 12 V yang tertulis pada badan baterai atau akumulator menunjukkan beda potensial listrik yang dimilikinya. Hal itu sering disebut gaya gerak listrik (GGL). Untuk membantumu memahami pengertian gaya gerak listrik, perhatikan gambar di bawah ini dan perhatikan pula penjelasannya



Gambar 10.8 baterai dengan beban lampu

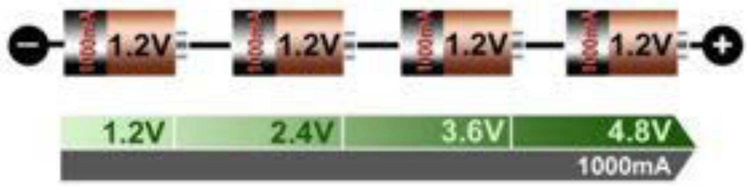
Jika sakelar (sk) ditutup, elektron di kutub negatif baterai akan bergerak melalui penghantar menuju kutub positif. Selama dalam perjalanannya, elektron mendapat tambahan energi dari gaya tarik kutub positif. Namun, energi itu akan habis karena adanya tumbukan antar elektron; di dalam lampu tumbukan itu mengakibatkan filamen berpijar dan mengeluarkan cahaya. Sesampainya di kutub positif, elektron tetap cenderung bergerak menuju ke kutub negatif kembali., Namun, hal itu sulit jika tidak ada bantuan energi luar. Energi luar tersebut berupa energi kimia dari baterai. Energi yang diperlukan untuk memindah elektron di dalam sumber arus itulah yang disebut gaya gerak listrik (GGL). Pada gambar di atas tegangan terukur pada titik AB (misalnya menggunakan voltmeter) ketika sakelar terbuka merupakan GGL baterai. Adapun tegangan terukur ketika sakelar tertutup merupakan tegangan jepit. Nilai tegangan jepit selalu lebih kecil daripada gaya gerak listrik.

Rangkaian Seri dan Paralel Baterai

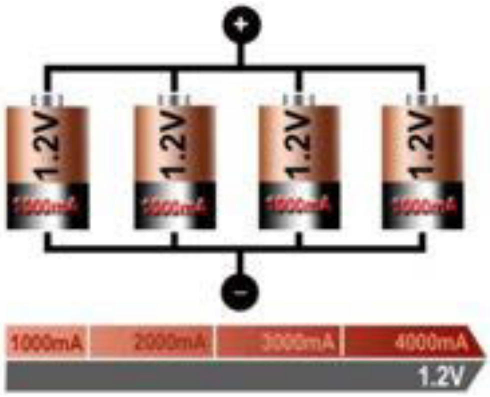
Beberapa baterai dapat disusun seri atau paralel dan bahkan campuran keduanya, Hubungan seri prinsipnya adalah hanya untuk menaikkan tegangan , dan hubungan paralel adalah untuk menaikkan Arusnya (tegangan tetap) perhatikan gambar dibawah ini:

Empat buah baterai yang disusun seri seperti nampak pada *gambar 10.9*. masing masing 1,2V dengan kemampuan arus 1000mA akan menjadi 4,8V dan kemampuan arusnya sama yaitu 1000mA.

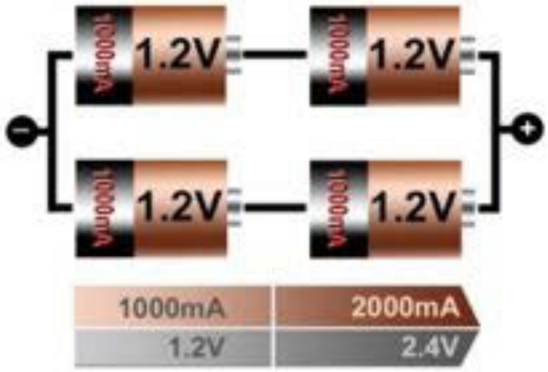
Empat buah baterai yang disusun paralel seperti nampak pada *gambar 10.10* masing masing 1,2V dengan kemampuan arus 1000mA akan tetap menjadi 1,2V dan kemampuan arusnya meningkat yaitu 4000mA.



Gambar 10.9 hubungan seri baterai



Gambar 10.10 hubungan paralel baterai



Gambar 10.11 hubungan paralel baterai

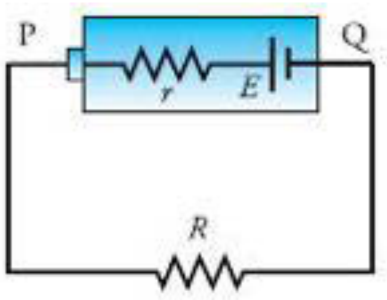
Empat buah baterai yang disusun seri dan paralel seperti nampak pada *gambar 10.11* masing masing 1,2V dengan kemampuan arus 1000mA akan menjadi 2,4V dan kemampuan arusnya meningkat yaitu 2000mA.

10.5 Perbedaan GGL dan Tegangan Jepit

Beda potensial dan sebuah sumber tegangan dapat diketahui jika dihubungkan dengan hambatan, misalnya lampu, radio, atau alat elektronik yang lain. Apakah ini berarti, jika sumber tegangan tidak dihubungkan dengan hambatan, tidak mempunyai potensial? Walaupun arus tidak mengalir, sebuah sumber tegangan tetap memiliki beda potensial. Ketika mempelajari alat ukur listrik, kalian telah mengetahui bahwa setiap alat ukur mempunyai hambatan dalam. Demikian pula sumber tegangan. Sumber tegangan, misalnya baterai, aki (accu), dan sumber tegangan lain, juga mempunyai hambatan dalam. Hambatan dalam ini menyebabkan adanya beda potensial di antara kutub-kutubnya, walaupun arus tidak mengalir.

Ketika arus tidak mengalir, beda potensial di antara kedua kutub (disebut juga polaritas) sumber tegangan disebut **gaya gerak listrik** (ggl).

Namun, jika arus listrik mengalir, beda potensial pada polaritas sumber tegangan disebut tegangan jepit (V,). Lalu, bagimanakah hubungan gaya gerak listrik dengan tegangan jepit. Perhatikan Gambar hambatan dalam pada baterai (r) tersusun seri dengan hambatan luar (R).



Gambar 10.9baterai dengan tahanan dalam r

Kita tahu bahwa di dalam sumber tegangan, misalnya baterai, terdapat hambatan dalam (disimbolkan dengan huruf r). Jika arus mengalir, hambatan dalam ini akan menghambat arus. Akibatnya, tegangan yang seharusnya dihasilkan (ggl) berkurang sebesar IR. Tegangan akhir yang biasanya kita ukur inilah yang disebut tegangan jepit. Jadi, hubungan antara tegangan jepit dengan gaya gerak listrik diberikan dengan persamaan:

$$\mathbf{V_{jepit} = \varepsilon - Ir}$$

Jika tegangan jepit ini dihubungkan dengan sebuah hambatan luar R, maka besar arus yang mengalir dalam rangkaian adalah :

$$\mathbf{I = V_{jepit} / Rtotal = E / (R+r)}$$

Keterangan:

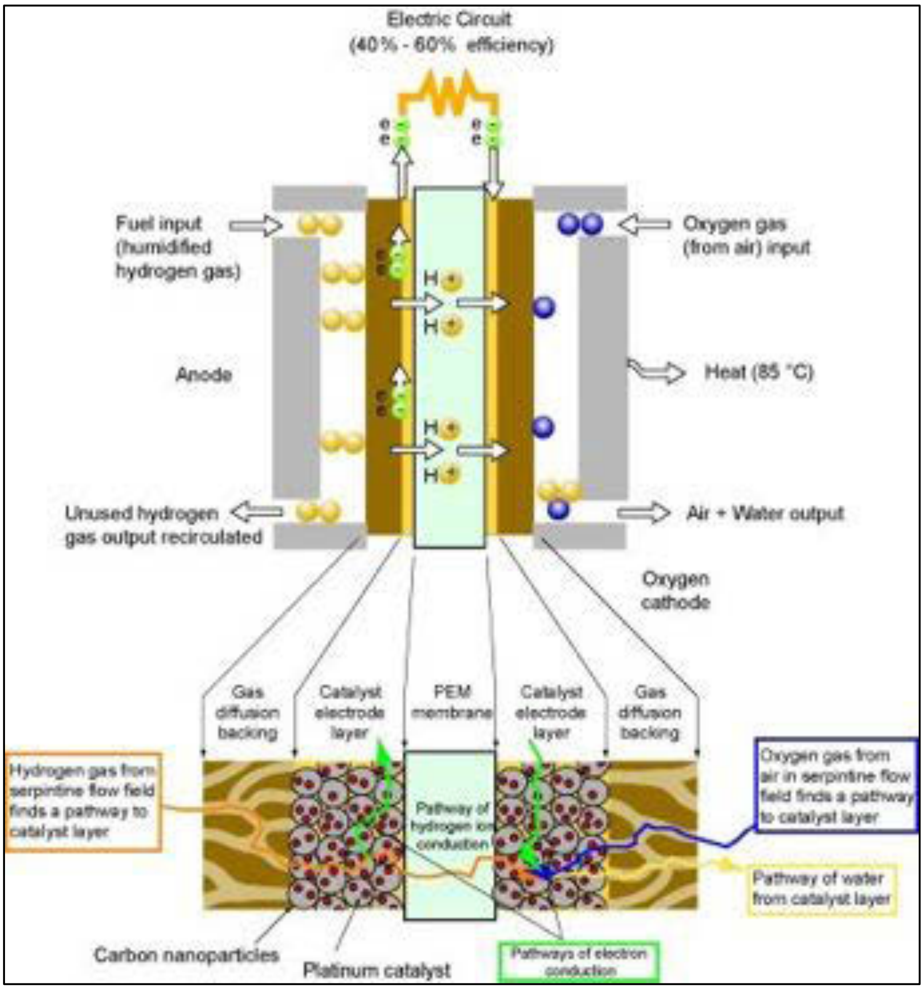
- V_{jepit} = tegangan jepit (volt)
- E = gaya gerak listrik (volt)
- I = kuat arus (A)
- R = hambatan luar (ohm)
- r = hambatan dalam (ohm)

Walaupun **ggl** dan tegangan jepit merupakan dua hal yang berbeda, tetapi dalam pemakaiannya sering dianggap sama. Ini terjadi karena hambatan dalam pada sumber tegangan diangggap sangat kecil atau dapat diabaikan, namun pada kasus khusus seperti baterai dengan kemampuan arus kecil, tahanan dalam dari baterai tersebut tidak lagi dapat diabaikan, sebagai contoh baterai AAA, AA dan lain yang bukan alkalin atau yang dapat diisi ulang.

10.6 Fuel Cell

10.6.1 Prinsip dasar

Polymer electrolyte membrane (PEM)fuel cell adalah sebuah perangkatelektrokimia yang mengubah secara langsung energi kimia bahan bakar menjadienergi listrik melalui reaksi berpasangan oksidasi-reduksi . Secara skematis diagram PEM fuel cell dapat dilihat pada Gambar 10.10 berikut ini.



Gambar 10.10 teknik fuelcell

PEM fuel cell merupakan sumber energi yang sangat baik bila diaplikasikan pada alat transportasi, karena perangkatnya mudah didistribusikan dan mudah dibawa Selain itu, PEM fuel cell memiliki potensial solid state,ringan, rapat arus yang tinggi, dan beroperasi pada temperatur rendah. Pada lima tahun terakhir , penelitian PEM fuel cell mengalami peningkatan yang signifikan. Industri otomotif melakukan investasi melalui berbagai usaha dalam mengkomersialisasi PEM fuel cell pada mobil, dengan harapan mampu bersaing dengan kendaraan



bermesin bakar internal. Disisi lain,ada berbagai hambatan dalam pengkomersialisasian PEM fuel cell, seperti kurangnya produksi hidrogen dan infrastruktur distribusi, rendahnya kerapatan /densitas wadah penyimpanan gas, masalah kekuatan susunan PEM fuelcell, serta biaya produksinya masih tinggi. Sebagai salah satu komponen utama dari PEM fuel cell, pelat bipolar membutuhkan material dan desain yang baru dalam rangka mengurangi biaya produksi serta untuk mengurangi bobotfuel cell.

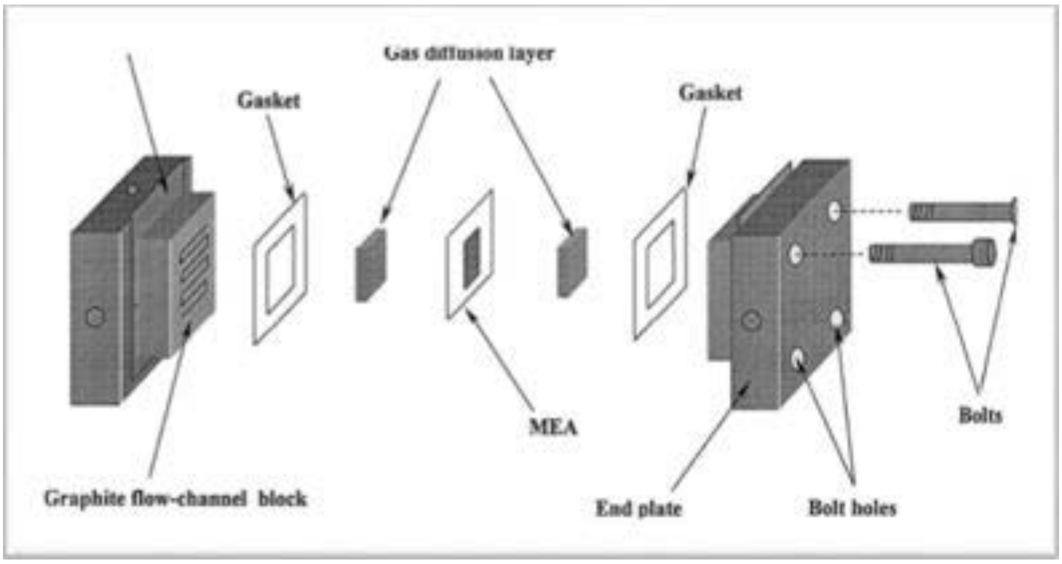
10.6.2 Struktur PEM Fuel Cell

Gambar 10.10 menunjukkan struktur rangkaian PEM fuel cell yang terdiri dari membrane electrolyt eassembly (MEA) dengan lapisan katalis dikeduasisinya, lapisan difusi gas (GDL),gaskets, pelat bipolar, penyimpan arus, dan pelat penutup. PEM fuel cell terdiri dari 4 komponen utama seperti disajikan tabel 10.1 dibawah.

Tabel 10.1Komponen-komponen utama PEM fuel cell.

Komponen	Material	Fungsi
Membrane Electrolyte assembly (MEA)	Polimer solid terimpregnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda. Kertas atau kain carbon Berpori untuk lapisan difusi gas (GDL)	Terdiri dari 2 elekroda, 1 Membran elektrolit, dan 2 GDL. Membran memisahkan (dengan pembatas gas) 2 Setengah - reaksi sel dan melepas proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap setengah-reaksi. GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran , mengalirkan

		elektron dari area aktif menuju pelat bipolar dan membantu pengaturan air.
Pelat bipolar	Grafit, stainlesssteel, atau komposit polimer termo plastik	Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari Anoda menuju katoda. Membuang air keluar sel.
Pelat penutup	Material dengan kekuatan Mekanik yang baik (biasanya baja atau alumunium)	Menyatukan rangkaian fuelcell
Penyimpan Arus	Logam dengan kontak elektrik dan konduktivitas yang baik (biasanya tembaga)	Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam ke luar sirkuit



Gambar 10.11 Struktur rangkaian PEMfuel cell[1].

10.6.3 Pelat Bipolar

Pelat bipolar atau pelat bidang alir (flow field plate) digunakan sebagai penghubung antara dua elektroda berbeda kutub. Pelat bipolar dibuat dari material yang mampu mengalirkan listrik dan tidak dapat ditembus gas, fungsinya sebagai penyimpan arus dan sebagai struktur penguat rangkaian fuel cell. Pelat ini biasa dibuat dari grafit, logam (alumunium,stainless steel, titanium, dan nikel), atau dapat juga dibuat dari komposit . Saluran alir gas dicetak pada permukaan pelat sebagai tempat aliran gas-gas yang bereaksi. Gambar 10.12 dibawah ini menunjukan sebuah pelat bipolar PEM fuel cell dengan saluran alir.



Gambar 10.12 Pelat bipolar dengan saluran alir

Sebagai komponen utama pada PEMfuel cell, pelat bipolar memenuhibagian yang signifikan dari total biaya dan bobot rangkaianfuel cell. Pelat bipolarmencakup 80% total bobot dan 45% biaya, sehingga hal ini bersifat kritis danperlu pertimbangan dalam mendesainfuel cell. Pembuatan saluran alir (flowpath) pada permukaan pelat bipolar juga salah satu proses yang membutuhkanbiaya, hal ini menjadi faktor kunci yang menghambat komersialisasi PEM fuelcell. Oleh karena itu, diperlukan pelat bipolar yang murah, tipis, dan ringan,sehingga dapat mengurangi bobot, volume, dan biaya produksi fuel cell.

Pada aplikasi di bidang transportasi, bobot secara khusus menjadi bahan pertimbangan, karena penambahan bobot berarti mengurangi efisiensi bahan bakar. Salah satu jenis fuel cell dalam aplikasi kendaraan bermotor membutuhkan 200 - 400 pelat bipolar. Dalam kasus ini, diperlukan pemilihan material dan metode pemrosesan pelat bipolar yang tepat agar dapat diaplikasikan pada

industri otomotif. Material baru pelat bipolar untuk industri otomotif harus memiliki konduktivitas yang tinggi dan kerapatan massanya rendah bila diban dingkan material lain, seperti baja, alumunium, dan grafit. Selain itu, pelat bipolar harus dapat diproduksi secara massal

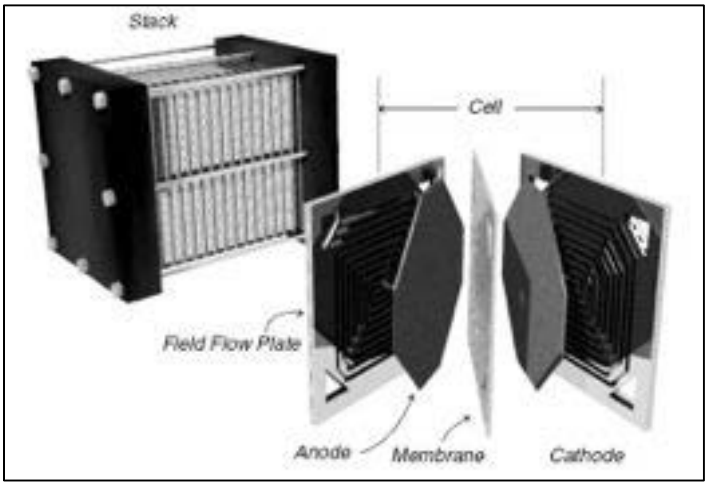
10.6.4 Fungsi Pelat Bipolar

Pelat bipolar memiliki banyak fungsi dalam lingkungan operasi PEM fuelcell. Fungsi utama pelat bipolar adalah sebagai berikut:

1Mengalirkan elektron ke seluruh sirkuit:

- Mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda dan katoda,
- Menyatukan rangkaianfuel cellyang dilengkapivoltase (rangkaianfuelcelltergantung pada bentuk pelat bipolar);

2. Mengalirkan dan mendistribusikan gas ke elektroda secara merata;
3. Memisahkan oksidan dan bahan bakar gas, memasukkan H_2ke anoda dan O_2ke katoda, serta membuang air hasil reaksi;
4. Sebagai penguat mekanik sekaligus penahan membran tipis dan elektroda,serta sebagai penjepit rangkaianfuel cellseperti terlihat pada Gambar 10.13
5. Sebagai konduktor panas untuk meregulasikan temperatur fuelcell dan memindahkan panas dari elektroda ke saluran pendingin.





Gambar 10.13 Letak pelat bipolar (field flow plate) pada PEMfuel cell

Agarpelatbipolarmampumenjalankansemuafungsitersebut,makadibutuhkan materialyangtepat.Sifat-sifatmaterialpelatbipolarangidealdisajikan pada Tabel 10.1 berikut ini:

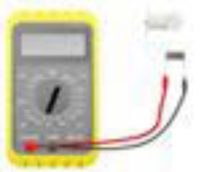
Tabel 10.1 Sifat material yang dibutuhkan untuk pelat bipolar ideal [1].

Parameter	Nilai Standar
Muatan Konduktivitas	>10^4S/m
Kekuatan	Mampu bertahan dari tekanan 200 psi
Bobot	Maksimum 200 gr per pelat
Volume	1 L/kW/stack
Biaya	< $ 0,0045/cm^2
Kerapatan ArusDecay	< 10% per 5000 jam operasi
Daya Tembus (permeability)	Maksimum kebocoran $H_2$104cm^3/s-cm^2
Korosi	8 x 10^{-7}mol/cm^2per 5000 jam atau 0,0016 mA/cm^2per 5000 jam

10.6.5. Material Pelat Bipolar

Ada berbagai jenis material yang dapat digunakan untuk material pelatbipolar,sepertilogamdenganatautanpapelapisan,grafit,kompositkarbon/ polimer,kompositkarbon/karbon.Pelatlogamseringdilapisidenganlapisananti korosipadaermukaannya,sementarapelatgrafitdiimpregnasidengan sealant treatmentuntuk mengurangi daya tembus gas. Berbagai penelitianterbaru telah dilakukan untuk membuat pelat bipolar yang murah, ringan, danberdaya guna, sehingga dapat menggantikan pelat grafit yang harganya masihmahal

10.6.6. Pelat Bipolar Komposit Polimer-Karbon



Material baru untuk pelat bipolar yang mampu mengurangi bobotfuel cellsangatlah diperlukan. Saat ini, komposit bermatriks polimer sudah banyak ditelitiuntuk digunakan sebagai material pelat bipolar karena komposit polimer-karbonlebih murah dan lebih ringan bila dibandingkan material seperti baja, alumunium,dan grafit. Kemampuan proses juga menjadi sebuah persoalan yang penting untuk produksi massal pelat bipolar. Oleh karena itu, komposit polimer-karbon menjadi alternatif menarik dari pelat bipolar logam atau grafit. Idealnya, pelat kompositharus memenuhi target sebagai berikut [1]:

- Konduktivitas yang tinggi (targetDepartment of Energy(DOE) AmerikaSerikat adalah 100 S/cm);
- Daya tembus (permeability) hidrogen harus sama atau di bawah rentangdaya tembus membran penghantar ion;
- Sifat-sifat mekanik yang baik;
- Stabilitas panas saat kondisi kerjafuel cell(-40 sampai 120 °C untukfuelcellpenggerak kendaraan bermotor);
- Kerapatan massa yang rendah;
- Stabilitas kimia dalam kondisi kontak dengan bahan bakar, oksidan, danair yang mungkin sedikit bersifat asam (korosi < 16 µA/cm);
- Tahan korosi;
- Dayatembusyangrendahterhadapbahanbakardanoksidan(dayatem bus gas H_2< 2 x 10cm/scm)
- Muai panasnya rendah;
- Dapat ditiru ulang, secara khusus mampu meniru ulang saluran alir yangdimanukfaktur pada pelat dalam toleransi teknik;
- Mudah diselesaikan untuk dapat diterima standar kualitas;
- Dapat didaur ulang.

Melalui pemilihan matriks polimer yang tepat, komposit polimer-karbondapat memberikan sifat inert terhadap bahan kimia dan keketatan terhadap gas.

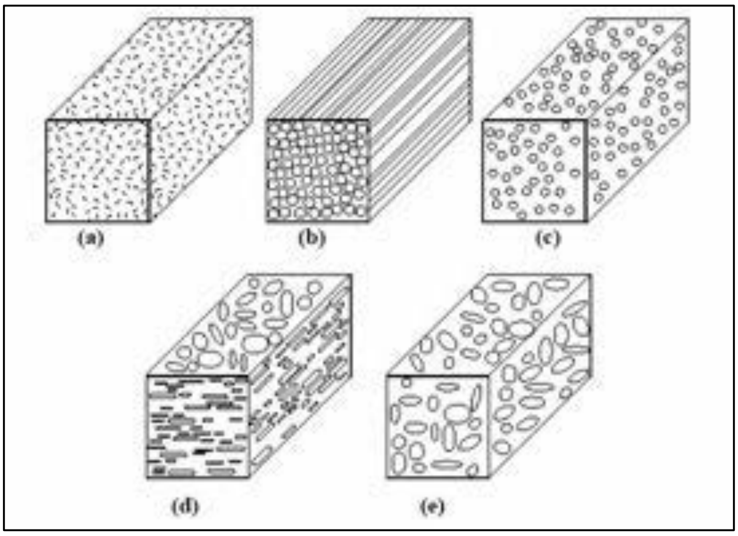
Polimer termoplastik dan termoset dapat dipilih menjadi matriks komposit denganditambahkan bahan pengisi konduktif, seperti karbon hitam, serat karbon, grafit,dan partikel logam. Mesin cetak tekan (compression

molding) dan cetak injeksi(injection molding) digunakan untuk memfabrikasi pelat bipolar dengan saluran air pada permukaan pelatnya. Pemilihan metode proses yang tepat dapat mengurangi biaya produksi pelat bipolar.

10 .6 7. KOMPOSIT

Komposit adalah material hasil kombinasi antara dua material atau lebih yang memiliki fasa berbeda menjadi suatu material baru yang memiliki sifat lebih baik dari bahan-bahan penyusunnya.Kombinasi ini terjadi dalam skala makroskopis. Komposit terdiri dari dua bahan penyusun ,yaitu bahan utama sebagai matriks pengikat dan bahan pengisi sebagai penguat. Matriks berfungsisebagai pengikat dan pentransfer beban ke penguat, sedangkan penguat berfungsisebagai penahan beban tersebut. Matriks dapat terbuat dari berbagai material,seperti polimer, logam, karbon, atau keramik.Bahan penguat komposit dapatberbentuk serat, partikel, serpihan, atau juga dapat berbentuk yang lain.

Oleh karena itu, komposit dapat dikelompokkan berdasarkan jenis matriksnya,seperti komposit bermatiks logam, komposit bermatriks polimer, dan komposit bermatriks keramik. Selain jenis matriks, komposit juga dikelompokkan berdasarkan bentuk penguatnya sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 10.14 berikut ini.



Gambar 10.14 komposit bermatrik logam

Beberapa contoh penerapan fuelcell

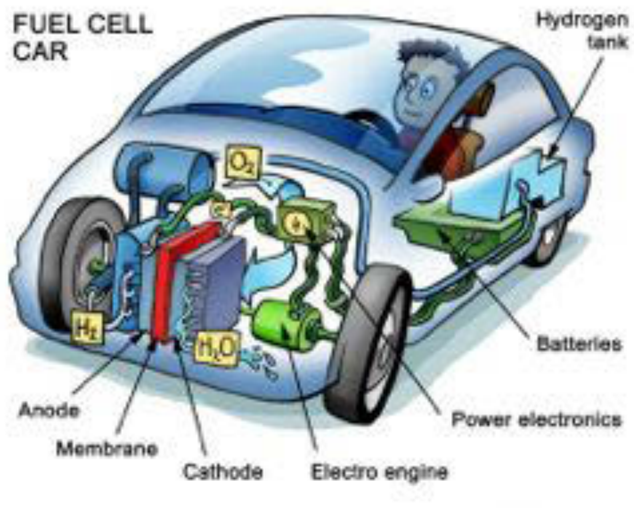
FUEL cell terdiri dari dua lempeng elektroda yang mengapit elektrolit. Oksigen dilewatkan pada satu sisi elektroda, sedangkan hidrogen dilewatkan pada sisi elektroda lainnya sehingga menghasilkan listrik, air, dan panas. Cara kerjanya, hidrogen disalurkan melalui katalisator anoda. Oksigen (yang diperoleh dari udara) memasuki katalisator katoda. Didorong oleh katalisator, atom hidrogen membelah menjadi proton dan elektron yang mengambil jalur terpisah di dalam katoda. Proton melintas melalui elektrolit. Elektron-elektron menciptakan aliran yang terpisah, yang dapat dimanfaatkan sebelum elektron-elektron itu kembali ke katoda untuk bergabung dengan hidrogen dan oksigen, dan membentuk molekul air.

Sistem fuel cell mencakup fuel reformer yang dapat memanfaatkan hidrogen dari semua jenis hidrokarbon, seperti gas alam, methanol, atau bahkan gas/bensin. Mengingat fuel cell bekerja secara kimia dan bukan pembakaran seperti mesin konvensional, maka emisinya pun sangat rendah bila dibandingkan dengan mesin konvensional yang paling bersih sekalipun.

Penggunaan fuel cell sebagai penghasil listrik sudah dikembangkan sejak lama. Saat ini lebih dari 200 sistem fuel cell dipasang di berbagai bagian dunia, antara lain di rumah sakit, rumah perawatan, hotel, perkantoran, sekolah, bandar udara, dan penyedia tenaga listrik. Namun, memang penggunaannya pada sebuah mobil itu masih merupakan sesuatu hal yang baru.

Menampung hidrogen untuk digunakan pada mobil tidaklah mudah. Saat ini, hidrogen dibawa di dalam tabung bertekanan tinggi, yang mampu menahan tekanan sampai 10.000 pounds per square inch (psi) atau 700 atmosfer. Membawa-bawa tabung dengan tekanan sebesar itu, sama seperti membawa-bawa sebuah bom, tentunya diperlukan pengamanan yang khusus. Jika tabung itu sampai meledak, bisa dibayangkan apa yang terjadi.

Tampaknya Daimler Chrysler berhasil mengatasi persoalan yang dibawa oleh tabung penyimpan hidrogen tersebut. Seandainya belum, tentu Daimler Chrysler tidak akan memproduksinya secara massal.



Gambar 10.15 konsep mobil fuelcell

10.3 Rangkuman

- ✓ Akkumulator berasal dari istilah asing "Accumuleren" yang mempunyai arti mengumpulkan atau menyimpan. Akkumulator (accu, aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia
- ✓ Accu atau aki (accumulattor) merupakan salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor, mobil, motor ataupun generator listrik yang dilengkapi dengan dinamo stater. Selain menggerakkan motor starter dan sumber tenaga penerangan lampu kendaraan di malam hari,
- ✓ Lempeng timbal dioksida dan timbal murni disusun saling bersisipan akan membentuk satu pasang sel akumulator yang saling berdekatan dan dipisahkan oleh bahan penyekat berupa isolator
- ✓ Beda potensial yang dihasilkan setiap satu sel akumulator 2 volt sehingga pada akumulator 12 volt tersusun dari 6 pasang sel akkumulator yang disusun seri.

- ✓ Kemampuan akumulator dalam mengalirkan arus listrik disebut dengan kapasitas akumulator yang dinyatakan dengan satuan Ampere Hour (AH)
- ✓ Pada saat akumulator digunakan, terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan terjadi perubahan melalui reaksi kimia pada anode, katode dan elektrolitnya.
- ✓ Pada anode, secara perlahan terjadi perubahan yaitu timbal dioksida (PbO_2) menjadi timbal sulfat ($PbSO_4$) Adapun pada larutan elektrolit terjadi perubahan, yaitu asam sulfat pekat menjadi encer, karena pada pengosongan akumulator terbentuk air (H_2O).
- ✓ Terbentuknya air pada reaksi kimia di atas menyebabkan kepekatan asam sulfat berkurang, sehingga mengurangi massa jenisnya. Jika hal itu terjadi, maka kedua kutub akan memiliki potensial sama dan arus listrik berhenti mengalir dan dikatakan aki habis
- ✓ Akkumulator yang telah habis (kosong) dapat diisi kembali, karena itulah akkumulator disebut juga dengan elemen sekunder. Untuk melakukan pengisian diperlukan sumber tenaga listrik arus searah lain yang memiliki beda potensial sedikit lebih besar
- ✓ Waktu pengisian Aki yang lama dapat diperoleh hasil pengisian yang lebih baik dan memperpanjang umur pakai akkumulator secara normal pengisian Aki adalah 10 Jam, dengan arus pengisian 1/10 dari kapasitas Akinya
- ✓ Alat yang menyalurkan energi listrik disebut sumber gaya gerak listrik atau disingkat sumber ggl (atau EMF ≡ electromotive force).
- ✓ Suatu baterai ideal adalah sumber ggl yang menjaga beda potensialnya tesebutkantap antar kedua terminalnya, tidak bergantung pada laju aliran muatan antara mereka. Beda



potensial antar terminal baterai ideal besarnya sama dengan ggl baterai.

- ✓ Ketika arus tidak mengalir, beda potensial di antara kedua kutub (disebut juga polaritas) sumber tegangan disebut **gaya gerak listrik** (ggl)
- ✓ Akibatnya, tegangan yang seharusnya dihasilkan (ggl) berkurang sebesar IR. Tegangan akhir yang biasanya kita ukur inilah yang disebut tegangan jepit
- ✓ Polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cell adalah sebuah perangkat elektrokimia yang mengubah secara langsung energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi berpasangan oksidasi-reduksi
- ✓ PEM fuel cell yang terdiri dari membrane electrolyt eassembly (MEA) dengan lapisan katalis dikeduasisinya, lapisan difusi gas (GDL),gaskets, pelat bipolar, penyimpan arus, dan pelat penutup.
- ✓ PEM fuel cell terdiri dari 4 komponen utama yaitu Pelat bipolar atau pelat bidang alir (flow field plate) digunakan sebagai penghubung antara dua elektroda berbeda kutub,



10.4 Tugas

1) Kumpulkan informasi tentang jenis dan type baterai ukuran AA yang ada di pasaran, tuliskan masing masing jenis spesifikasinya dan variannya
2) Kumpulkan informasi tentang jenis baterai Lythium dengan berbagai ukuran yang ada di pasaran, tuliskan masing masing jenis spesifikasinya dan variannya serta kegunaanya
3) Kumpulkan informasi tentang Aki jenis dan type baterai dengan berbagai ukuran yang ada di pasaran, tuliskan masing masing jenis spesifikasinya dan variannya
4) Kumpulkan informasi tentang perkembangan fuelcell kondisi yang terbaru dan kemungkinan aplikasi riil dalam menghadapi tantangan kebutuhan akan energi saat ini

10.5 Tes Formatif

1. Sebutkan bagian bagian dari sel kering beserta fungsinya?

2. Sebutkan komponen komponen dari sel basah beserta fungsinya?

3. Sebutkan penerapan sel kering dalam kehidupan sehari hari?

4. Sebuah aki tertulis 12V / 50 Ah maksudnya adalah?

5. Sebutkan perbedaan antara aki dan kondensator?

6. Sebutkan dibutuhkan sumber tegangan 12 V , berapakah jumlah baterai yang dibutuhkan jika setiap baterai adalah 1,5V

7. Apakah manfaat yang diperoleh jika kita membuat hubungan seri dari sumber tegangan berupa baterai?

8. Apakah manfaat yang diperoleh jika kita membuat hubungan paralel dari sumber tegangan berupa baterai?

9. Jelaskan reaksi yang terjadi pada aki disaat aki dipergunakan atau dihubungkan pada beban?

10. Jelaskan reaksi yang terjadi pada aki disaat aki sedang diisi atau di charge?

11. Berapakah waktu yang paling baik dipergunakan untuk mengisi aki?

12. Berapakah arus pengisian yang baik untuk mengisi Aki?

13. Berapakah besarnya tahanan dalam dari sebuah baterai yang paling baik (ideal)?
14. Apakah akibat yang ditimbulkan jika tahanan dalam dari baterai tidak bisa ideal?
15. Apakah yang di maksud dengan GGL (EMF) ?
16. Apakah FuelCell itu ?
17. Apakah yang dimaksud dengan PEM jelaskan jawabanmu?
18. Sebutkan komponen utama Fuel Cell?
19. Sebutkan aplikasi Fuel Cell dimasa mendatang ?

10.6 Jawaban Tes Formatif

....

....

....

10.7 Lembar Kerja

Tujuan Praktek :

- ✓ Dapat mengukur tegangan GGL dari sebuah baterai sel kering
- ✓ Dapat mengukur tegangan Jepit dari sumber tegangan sel kering
- ✓ Dapat mengukur penjumlahan dari sumber tegangan yang disusun secara seri tegangannya
- ✓ Dapat mengukur penjumlahan dari sumber tegangan yang disusun secara paralel kemampuan arusnya
- ✓ Mengukur besarnya tahanan dalam dari sebuah sumber tegangan (sel kering)
- ✓ Mengukur kemampuan arus dari sebuah baterai atau aki

Keselamatan kerja:

- ✓ Gunakan peralatan yang sesuai dengan fungsinya, terutama penempatan selektor pemilih fungsi.
- ✓ Letakkan range ukur selalu lebih tinggi dari perkiraan besaran yang akan diukur



Percobaan 1 Hubungan seri baterai.

Alat dan Bahan:

1. Multimeter digital (dengan tahanan dalam lebih dari 50kΩ/V)
2. Baterai kering AA 6 buah
3. Lampu pijar 6V / 2W
4. Kabel Jumper
5. Amper meter

Langkah percobaan

- ✓ Buatlah rangkaian seperti pada gambar dibawah
- ✓ Ukur tegangan baterai ukuran AA dan masukkan ke tabel 1
- ✓ Buatlah rangkaian seri 2 buah baterai dan ukurlah tegangannya dan masukkan pada tabel 1
- ✓ Buatlah rangkaian seri 4 buah baterai dan ukuralah teganganya dan masukkan pada tabel 1



Gambar hubungan seri 2 buah Baterai

Tabel 1 Hubungan seri sel kering

No	Jumlah Baterai	Tegangan	Keterangan
1	1 Buah		
2	2 Buah		
3	4 buah		

Pertanyaan:

1. Hubungan seri dari sumber tegangan dapat dirumuskan ?
2. Jika jumlah baterai yang di seri sejumlah 6 buah berapakah tegangan total yang di hasilkan?

3. Untuk mendapatkan tegangan sebesar 15 Volt, berapakah jumlah baterai yang dibutuhkan?
4. Bagaimanakah besarnya tahanan dalam dari baterai yang disusun secara seri?
5. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan diatas

KESIMPULAN:

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

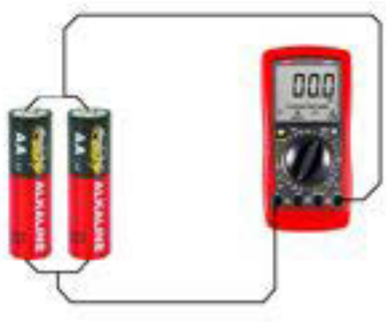
Percobaan 2 Hubungan Paralel baterai.

Alat dan Bahan:

1. Multimeter digital (dengan tahanan dalam lebih dari 50kΩ/V)
2. Baterai kering AA 4 buah
3. Lampu pijar 6V / 2W
4. Kabel Jumper
5. Amper meter

Langkah percobaan

- ✓ Buatlah rangkaian seperti pada gambar dibawah
- ✓ Buatlah rangkaian Paralel 2 buah baterai dan ukurlah tegangannya dan masukkan pada tabel 2
- ✓ Buatlah rangkaian seri dan paralel 4 buah baterai dan ukuralah teganganya dan masukkan pada tabel 2



Gambar hubungan Paralel 2 buah Baterai



Gambar hubungan Seri dan Paralel 4 buah Baterai

Tabel 2 Hubungan paralel sel kering

No	Jumlah Baterai	Tegangan	Keterangan
1	2 Buah		
2	4 Buah		

Pertanyaan:

1. Hubungan seri dari sumber tegangan dapat dirumuskan ?
2. Jika jumlah baterai yang di seri sejumlah 6 buah berapakah tegangan total yang di hasilkan?
3. Untuk mendapatkan tegangan sebesar 15 Volt, berapakah jumlah baterai yang dibutuhkan?
4. Bagaimanakah besarnya tahanan dalam dari baterai yang disusun secara paralel?
5. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan diatas

KESIMPULAN:

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

Percobaan 3 Menentukan Tahanan dalam baterai.

Teori Penunjang.

Gambar dibawah menunjukkan rangkaian ekivalen dari sumber tegangan E merupakan GGL dan r adalah tahanan dalam nya. Jika sumber tegangan tersebut dihubungkan ke beban maka tegangan pada beban RL akan turun lebih kecil dari E (GGL) . kalo kita cermati akan terjadi hubungan seri antara E r dan RL, sebagai contoh misal E = 10V dan tahanan dalam r = 2Ω dengan beban 3Ω

Maka tegangan pada RL ada sebesar :

$$URL = \frac{RL}{Rd + RL} xE$$

$$URL = \frac{3}{2+3} x10$$

URL= 6V sehingga

I RL = 6V/3Ω = 2A

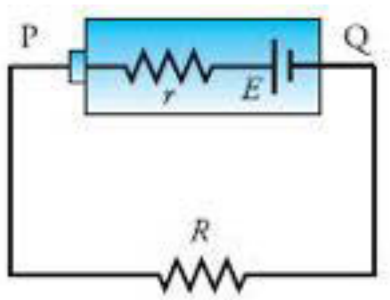
Alat dan Bahan:

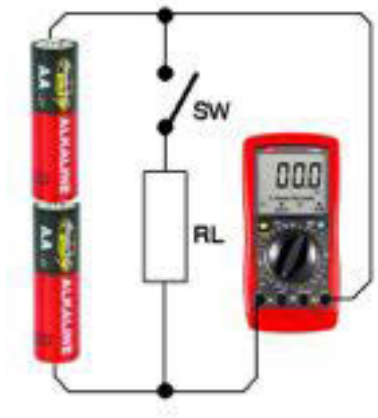
1. Multimeter digital (dengan tahanan dalam lebih dari 50kΩ/V)
2. Baterai kering AA 8 buah
3. Lampu pijar 6V / 2W
4. Kabel Jumper
5. Amper meter

Langkah percobaan

- ✓ Dengan menggunakan Ohm meter ukur tahanan lampu pijar yang dipakai R Lapu = ….Ω
- ✓ Buatlah rangkaian seri 8 buah baterai dan ukurlah tegangannya dan masukkan pada tabel 2
- ✓ Sambungkan hubungan seri ke 8 baterai tadi dengan beban Lampu sebagai RL
- ✓ Hitunglah besarnya IL atau arus beban dengan formulasi dibawah ini
- ✓ IL adalah arus beban yaitu URL yang ditunjukkan Volt meter dibagi dengan Bebannya (RL) → I = URL/ RL







Tabel 3 Hubungan seri sel kering dan beban

No	SW OFF	SW ON	Arus Rl
1	…………….Volt		0
2		…………….Volt	………………mA

SW OFF adalah besarnya tegangan GGL

SW ON adalah besarnya tegangan Jepit

Rd yang dihitung merupakan penjumlahan dari Rd 1 sampai Rd ke 8 dan untuk masing masing Rd tinggal dibagi 8.

$$Rd = \frac{GGL - URL}{I}$$ → I adalah hasil perhitungan dari pengukuran

KESIMPULAN:

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………………………………



Kegiatan Belajar 11 : TRANSFORMATOR FREKWENSI RENDAH

11.1 Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini siswa dapat:

- ✓ Menjelaskan pengertian dan fungsi dari transformator
- ✓ Menjelaskan prinsip kerja transformator
- ✓ Menjelaskan bagian bagian dari transformator
- ✓ Menjelaskan hubungan antara jumlah lilitan dan tegangan yang dibangkitkan
- ✓ Menjelaskan hubungan antara jumlah lilitan dan arus yang dibangkitkan
- ✓ Menjelaskan hubungan antara jumlah lilitan dan Impedansi yang dibangkitkan
- ✓ Menjelaskan informasi yang dimiliki transformator dengan membaca name platenya
- ✓ Menyebutkan macam macam inti transformator dan penerapan dari inti transformator tersebut
- ✓ Menjelaskan rangkaian ekivalen dari transformator
- ✓ Menjelaskan rugi-rugi dari transformator
- ✓ Menjelaskan cara mengukur rugi rugi transformator dengan melalui percobaan (praktek)
- ✓ Menjelaskan cara mengukur efisiensi transformator
- ✓ Menjelaskan kelebihan autotransformer dibandingkan dengan transformer
- ✓ Menjelaskan perumusan lilitan dan tegangan dari autotransformer
- ✓ Menjelaskan aplikasi transformator dalam kehidupan sehari hari
- ✓ Menjelaskan aplikasi transformator yang digunakan pada peralatan atau instrumen ukur

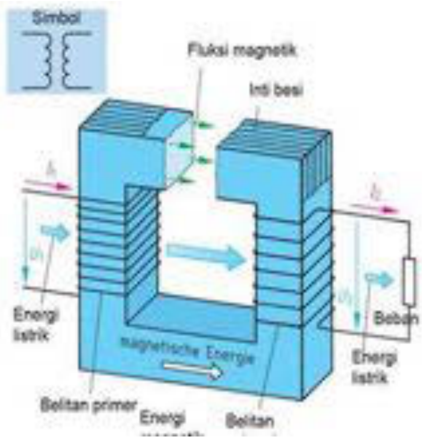
11.2 Uraian Materi

11.1 Pengertian Transformator

Mesin listrik dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu mesin listrik statis dan mesin lsitrik dinamis. Mesin listrik statis adalah transformator, alat untuk mentransfer energi listrik dari sisi primer ke sekunder dengan perubahan tegangan pada frekuensi yang sama. Mesin listrik dinamis terdiri atas motor listrik dan generator. Motor listrik merupakan alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik putaran. Generator merupakan alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listri

11.2. Prinsip Kerja Transformator

Transformator gambar 11.1 memiliki konstruksi sebuah inti dari tumpukan pelat tipis bahan ferro magnetis yang satu sisi dipasang belitan primer N1, dan satu sisi lainnya dipasangkan belitan sekunder N2. Belitan primer N1dihubungkan ke sumber listrik AC dengan tegangan primer U1 dan arus primer I1. Pada inti trafo timbul garis gaya magnet yang diinduksikan ke belitan sekunder N2. Pada belitan sekunder N2 timbul tegangan sekunder U2 dan arus sekunder I2. Pada trafo ideal berlaku daya primer sama dengan daya sekunder. Energi listrik sekunder disalurkan ke beban listrik.



Gambar 11.1 : Prinsip kerja Transformator Satu Phasa

Besarnya tegangan induksi berlaku persamaan sbb :

Uo = 4,44 B. Afe. f. N

Uo Tegangan induksi

B Fluk magnet

Afe Luas inti

f Frekuensi

N Jumlah belitan

Spesifikasi teknik sebuah transformator dicantumkan dalam nameplate, seperti gambar 11.2 berikut ini :

Daya trafo   20 KVA

Tegangan primer   6.000 V

Arus primer   3,44 A

Frekuensi   50 Hz

Tegangan

sekunder

230 V

Arus sekunder   87 A

Impedansi trafo   5%



Gambar 11.2 : Nameplate Trafo Satu Phasa



Gambar 11.3 : Trafo satu phasa jenis Core

Berbagai bentuk inti transformator salah satunya disebut tipe Core, seperti gambar11.3. Satu kaki dipasang belitan primer dan kaki lainnya dipasang belitan sekunder. Transformator ideal tidak memiliki rugi-rugi sehingga daya primer sama dengan daya sekunder.



11.3. Tranformator Ideal

Transformator ideal adalah trafo yang rugi-ruginya nol, artinya daya pada belitan primer sama dengan daya dibelitan sekunder. Dalam kondisi trafo tanpa beban, hubungan antara tegangan primer dan sekunder dengan jumlah belitan primer dan sekunder berlaku persamaan :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Perbandingan tegangan disebut perbandingan transformasi dituliskan dengan simbol *U*,

$$\ddot{u} = \frac{sisi - tegangan - tinggi}{sisi - tegangan - rendah} = \frac{U_1}{U_2}$$

Perbandingan transformasi (*U*) juga berlaku pada perbandingan belitan primer dan sekunder $\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}$

Hubungan antara tegangan dan jumlah belitan, secara teoritis mengikuti hukum induksi yang besarnya jumlah belitan N dan ΔΦ/Δt. Besarnya tegangan induksi : $U_{induksi} = N.\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Mengingat pada trafo memiliki dua belitan, yaitu belitan primer N1 dan belitan sekunder N2, maka tegangan primer dan sekunder dapat diketahui :

$$U_1 = N_1.\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{dan} \quad U_2 = N_2.\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{U_1}{N_1} \quad \text{dan} \quad \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{U_2}{N_2}$$

Mengingat ΔΦ/Δt , sisi kiri sama dengan sisi kanan maka persamaan umum hubungan antara tegangan dan jumlah belitan pada trafo ideal adalah :

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2} \quad \text{atau} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Perbandingan transformasi antara arus dengan jumlah belitan transformator dapat diuraikan dengan persamaan :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Dengan demikian perbandingan transformasi untuk arus berlaku

$$U = \frac{I2}{I1}$$

Perbandingan transformasi untuk impedansi Z, tahanan belitan tembaga R dan induktansi belitan X dapat diturunkan dari tegangan dan arus, dan berlaku persamaan :

$$U^2 = \frac{Z1}{Z2} \rightarrow U^2 = \frac{R1}{R2} \rightarrow U^2 = \frac{Z1}{Z2}$$

Dengan menggunakan perbandingan transformasi diatas, berlaku juga hubungan antara impedansi Z dengan jumlah belitan N sebagai berikut

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \quad \text{atau} \quad \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

Kondisi Trafo Ideal jika ditinjau dari arus primer dan sekunder berlaku :

$$S_1 = S_2 \quad \Rightarrow U_1 . I_1 = U_2 . I_2$$

Belitan kawat primer maupun belitan sekunder mengandung komponen resistansi R dan komponen induktansi XL yang keduanya membentuk impedansi Z. Persamaan impedansi untuk Trafo Ideal berlaku :

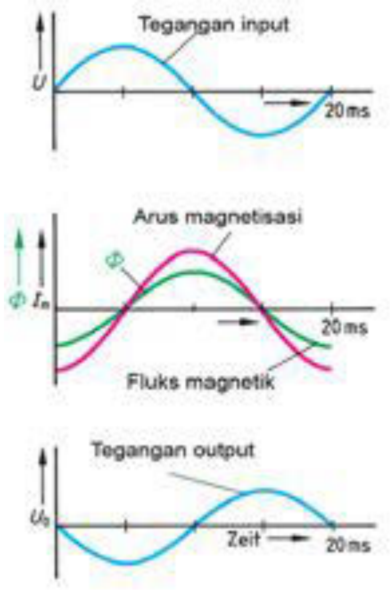
$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad Z_2 = \frac{U_2}{I_2} \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{N_1}{N_2} . \frac{I_2}{I_1}$$

Tegangan primer gambar-4.5a berbentuk sinusoida U dengan frekuensi 50 Hz (20 milidetik), siklus positif dengan sudut 0 sampai 180^0 dan siklus negatif dari 180^0 sampai 360^0

Arus magnetisasi Im gambar-4.5b terlambat 90^0

dari tegangan primer, menghasilkan fluk magnet Φ pada inti trafo yang juga berbentuk sinusoida. yang bentuknya sama dengan arus magnetisasi.

Induksi magnet yang terjadi pada inti trafo akan diinduksikan ke belitan sekunder. Tegangan sekunder yang dihasilkan gambar 11.4 c berbeda sudut phasa tegangan primer dengan sekunder sebesar 180^0

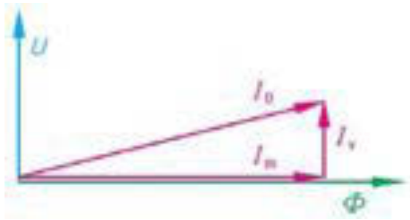


Gambar 11.4 : Bentuk Tegangan Input, Arus Magnetisasi dan Tegangan Output Trafo

Pada belitan primer ketika dihubungkan dengan sumber tegangan U, timbul arus tanpa beban Io. Arus primer Io terbentuk dari komponen arus magnetisasi Im yang menghasilkan fluk magnet Φ, dan komponen arus rugi inti Iv. gambar-4.6.

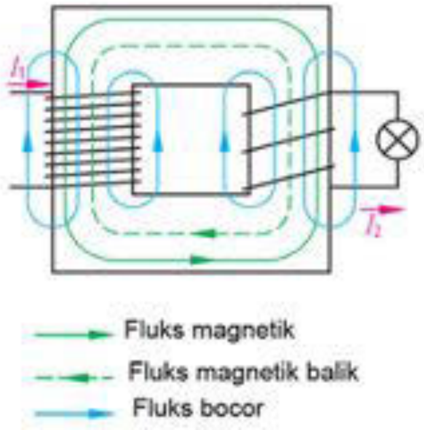
Im = Io. sin α

Iv = Io. cos α



Gambar 11.5 : Vektor Arus Magnetisasi

Garis gaya magnet pada inti trafo tampak pada gambar 11.6. Belitan primer N1 yang dihubungkan dengan tegangan AC dialiri arus primer I1. Arus primer menghasilkan fluk magnet yang mengalir sepanjang inti besi yang melingkupi juga belitan sekunder N2. Ketika belitan sekunder dipasang kan beban, timbul arus sekunder I2 yang menghasilkan fluk magnet yang berlawanan arah dengan fluk magnet arus primer.



Gambar 11.6 : Belitan primer dan sekunder Trafo Satu Phasa

11.4. Inti Transformator

Komponen transformator yang penting adalah inti trafo. Inti trafo dibuat dari bahan ferro magnetis berupa plat-plat tipis yang ditumpuk menjadi satu sehingga membentuk inti dengan ketebalan tertentu. Ada beberapa jenis inti trafo, diantaranya

a. Bentuk EI

b. Bentuk L

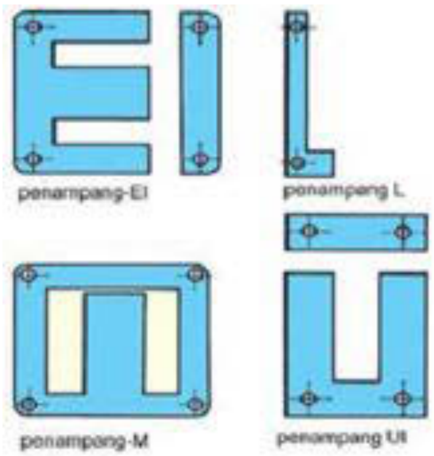
c. Bentuk M

d. Bentuk UI

Inti transformator EI atau tipe Shell gambar 11.7. Trafo jenis ini paling banyak dipakai untuk trafo daya kecil puluhan watt sampai daya besar orde kilowatt. Belitan primer dan sekunder digulung pada inti bagian tengah. Belitan primer digulungkan terlebih dulu, setiap lapisan gulungan dipisahkan dengan kertas yang berfungsi sebagai isolasi.

Bentuk inti lainnya adalah bentuk M- yang sebenarnya akan membentuk tipe yang sama dengan tipe Shell gambar 11.8

Bentuk UI atau sering disebut jenis inti banyak dipakai untuk trafo dengan daya kecil untuk peralatan elektronika.



Gambar 11.7 : Bentuk Inti Trafo tipe E-I,L, M dan tipe UI

Inti transformator EI atau tipe Shell gambar 11.7. Trafo jenis ini paling banyak dipakai untuk trafo daya kecil puluhan watt sampai daya besar orde kilowatt. Belitan primer dan sekunder digulung pada inti bagian tengah. Belitan primer digulungkan terlebih dulu, setiap lapisan gulungan dipisahkan dengan kertas yang berfungsi sebagai isolasi.

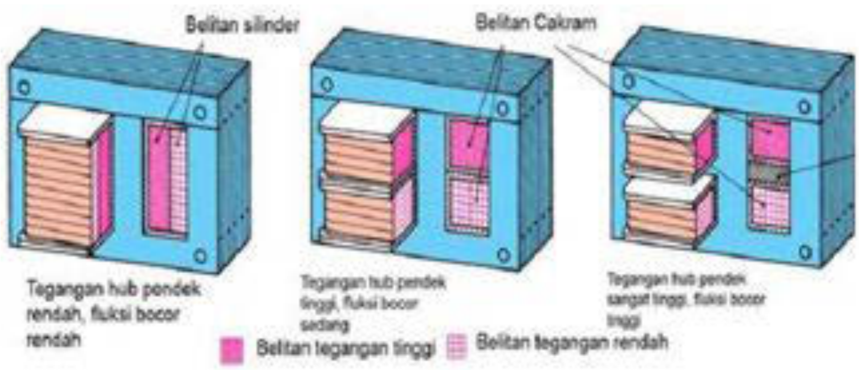
Bentuk inti lainnya adalah bentuk M- yang sebenarnya akan membentuk tipe yang sama dengan tipe Shell gambar 11.8, Bentuk UI atau sering disebut jenis inti banyak dipakai untuk trafo dengan daya kecil untuk peralatan elektronika.



Gambar 11.8 : Inti Trafo tipe EI satu Phasa

Belitan sekunder trafo jenis Shell diperlihatkan pada gambar 11.9 dibawah ini.

1. Cara pertama belitan primer dibelitkan diatas tumpang tindih dengan belitan sekunder.
2. Cara kedua belitan primer dibelitakan diatas, dibawahnya belitan sekunder.
3. Cara ketiga sama dengan cara kedua, ditambahkan isolasi untuk memisahkan dua belitan.



Gambar 11.9 : Susunan belitan primer dan sekunder

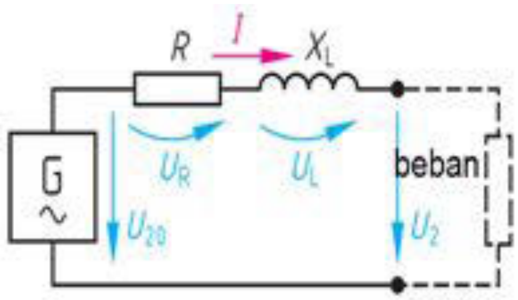
Jumlah belitan dan penampang kawat belitan primer dan sekunder berbeda ukuran, disesuaikan dengan tegangan dan besarnya arus yang mengalir dimasing belitan primer dan sekunder.

Bentuk inti trafo yang lainnya tampak seperti gambar 11.10 disamping. Belitan primer dan sekunder digulung dalam satu kern. Sedangkan inti merupakan pita berbentuk memanjang yang dibelitkan di dua sisi trafo sampai mengisi penuh belitan kawatnya. Selanjutnya kedua gulungan inti diikat dengan pelat sehingga inti tidak terlepas.

11.5. Rangkaian Listrik Transformator

Rangkaian pengganti trafo gambar 11.11 terdiri R menyatakan resistansi belitan primer dan sekunder. Induktor XL, menyatakan induktansi belitan primer dan sekunder. Komponen Impedansi Z terdiri R dan XL dalam satuan Ohm. Drop tegangan pada resistor sebesar UR = I. R, drop tegangan di induktor sebesar UL = I. XL.

Tegangan U2 menyatakan tegangan sekunder. Tegangan U20 merupakan penjumlahan vektor tegangan U2, UR dan UL.



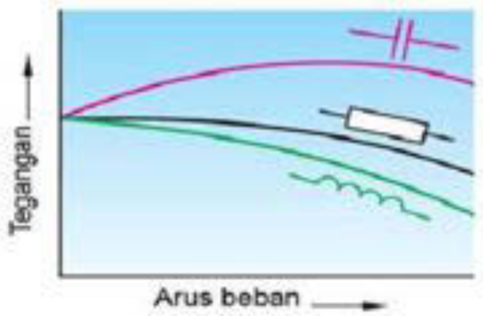
Gambar 11.10 : Rangkaian ekivalen Trafo

Besarnya tegangan terminal :

U2 = U20 – UR- UL

U2 = U20 – I. R – I.XL

Beban trafo dapat berupa resistor R, induktor L atau kapasitor C. Gambar 11.12 memperlihatkan karakteristik tegangan sekunder dan peningkatan arus beban. Dengan beban kapasitor C, ketika arus meningkat tegangan terminal lebih besar. Saat dibebani resistor R ketika arus meningkat beban terminal menurun. Dengan beban induktor L ketika arus meningkat, tegangan terminal sekunder menurun tajam.

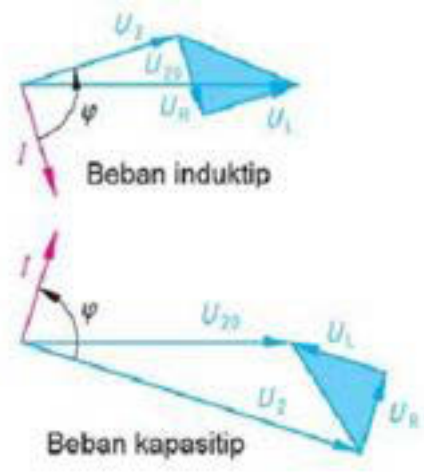


Gambar 11.11 : Grafik tegangan sekunder fungsi arus beban

11.6. Diagram Vektor Tegangan

Vektor diagram gambar 11.12a, menggambar kan tegangan dan arus trafo dengan beban induktor. Tegangan sekunder U2 penjum lahan tegangan induksi U20, UR dan UL. Antara tegangan U2 dan arus I berbeda phasa sebesar ij, dimana arus I terbelakang (lagging) sebesar 90^0 , Tegangan U2 lebih kecil dibandingkan tegangan U20.

Vektor diagram, gambar 11.12b, trafo dengan beban kapasitor. Tegangan sekunder U2 penjumlahan vektor tegangan induksi U20, UR dan tegangan UL. Tegangan U2 dan arus I berbeda sudut phasa sebesar ij, dimana arus I mendahului (leading) sebesar 90^0.



Gambar 11.12 : Vektor tegangan a) beban induktip b) beban kapasitip

Pada kenyataanya beban trafo lebih bersifat resistip atau beban impedansi (gabungan resistor dan induktor)

11.7 Rugi-rugi Transformator

Ada dua jenis kerugian dalam transformator, yaitu rugi inti dan rugi tembaga. Untuk mengukur rugi inti dilakukan dengan pengujian trafo tanpa beban dan untuk mengukur rugi tembaga dilakukan dengan pengujian trafo hubung singkat.

a. Pengujian Trafo Tanpa Beban.

Pengujian trafo tanpa beban dimaksudkan untuk mengukur rugi-rugi pada inti trafo. Rugi inti trafo disebabkan oleh proses magnetisasi dan histerisis. Pengukuran rugi inti seperti gambar 11.13a. Bagian primer trafo dipasang Wattmeter dan Voltmeter. Bagian sekunder trafo tanpa beban. Rugi-rugi inti trafo = penunjukan wattmeter

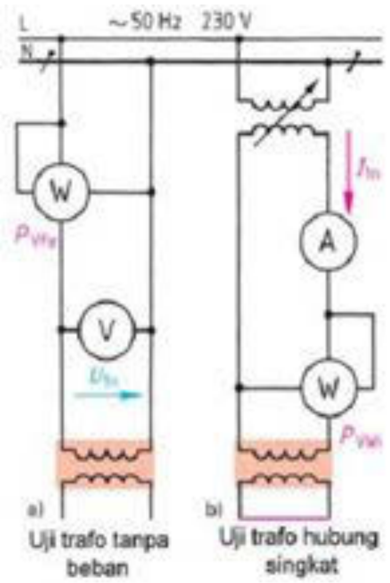
Sebuah trafo dalam pengukuran tanpa beban penunjukan Voltmeter U1n 220 V, penunjukan wattmeter 20 W. dipasang ampermeter penunjukan arus 0,68 A. Maka dapat dilakukan analisis rugi-rugi trafo sebagai berikut.

S = U. I = 220 V. 0,68° = 149,6 VA

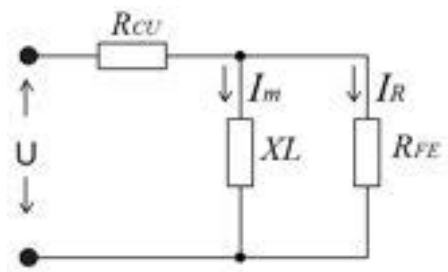
Z = U/I = 220/0,68 = 323,5 ȍ

Cos φ= P/S = 20W/149,6A = 0,1337

φ = arc 0,1337 = 820



Gambar 11.13 : Pengawatan Uji Trafo a) Uji tanpa beban b) Uji hubung singkat



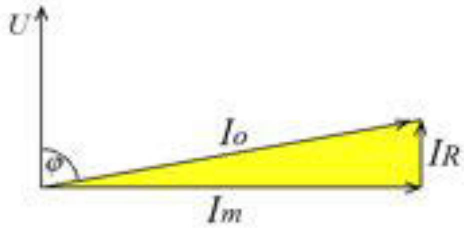
Gambar 4.16 : Rangkaian pengganti Trafo tanpa beban

Transformator tanpa beban, yang mengalir hanya arus sisi primer IO sebesar 0,68 A yang melalui tahanan tembaga R_{CU}. Arus tanpa beban I_O terdiri atas arus magnetisasi Im yang melalui induktansi XL dan arus aktif IR. yang melewati tahanan inti besi R_{FE} dengan sudut $\varphi = 82^0$ gambar 11.14.

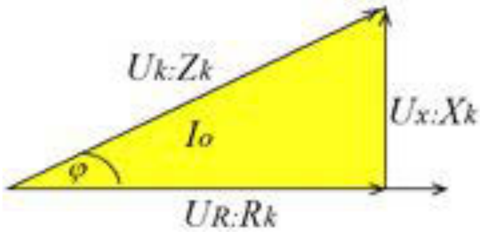
Vektor tegangan U tegak lurus dengan arus magnetisasi Im. Sedangkan tegangan U beda sudut phasa dengan arus Io sebesar $\varphi = 82^0$ gambar 11.15. Arus Io terukur oleh ampermeter dibagian primer sebenarnya merupakan komponen arus magnetisasi Im dan arus aktif I_R.

b. Pengujian Trafo Hubung Singkat.

Pengujian Trafo hubung singkat dilakukan untuk mengukur besarnya kerugian tembaga pada trafo. Pengukuran rugi-rugi tembaga dilakukan dengan cara seperti gambar 11.13b. Trafo bagian primer dihubungkan dengan sumber tegangan yang bisa diatur besarnya, dipasang Ampermeter dan Wattmeter.



Gambar 11.15 : Vektor tegangan dan arus pada Uji tanpa beban



Gambar 11.16 : Vektor tegangan dan arus pada Uji hubung singkat

Belitan sekundernya dihubung singkatkan. Besar tegangan primer Uk antara 5% sd 10% dari tegangan primer. Tegangan diatur dari paling kecil, dinaikkan bertahap sampai Ampermeter menunjuk kan arus primer nominalnya I1n. Besarnya rugi-rugi tembaga = penunjukan wattmeter

Pengujianq hubungsingkat trafo dihasilkan data pengukuran wattmeter 60 W, penunjukan ampermeter 3 A pada tegangan 21 V. Maka dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

$$U_K = \frac{21V.100\%}{220V} = \mathbf{9{,}54\%}$$

Saat dilakukan pengujian hubung singkat dapat ditentukan impendansi internal trafo Z dan kerugian tembaga pada belitan P_{CU}.

$$Cos\ \varphi = \frac{P}{U.I} = \frac{60W}{21V.3A} = \mathbf{0{,}95} \qquad \varphi = \mathbf{18^0}.$$

Tegangan UK sephasa dengan komponen impedansi Zk, tegangan UR sephasa dengan komponen tahanan tembaga R dan tegangan UX sephasa dengan komponen induktansi XK gambar 11.17.

UR = U. Cos φ = 21V. 0,95 = 19,95 V

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{21V}{3A} = \mathbf{7\ \Omega}$$

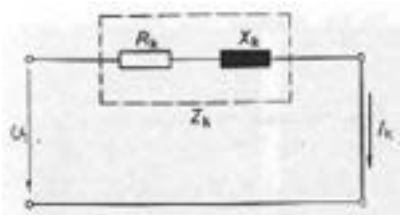
$$R_K = Z.\ Cos\ \varphi = 7\Omega.\ 0{,}95 = \mathbf{6{,}65\ \Omega}$$

$$U_X = U.\ Sin\ \varphi = 21V.\ 0{,}31 = \mathbf{6{,}51\ V}$$

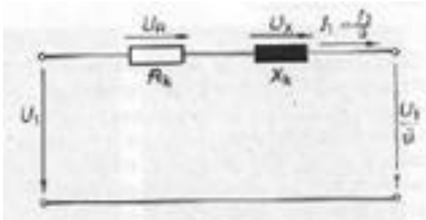
$X_K = Z.\ Sin\ \varphi = 7\Omega.\ 0{,}31 = \mathbf{2{,}17\ \Omega}$

Besarnya rugi-rugi tembaga = penunjukan wattmeter = 60 W

Komponen tahanan tembaga RK, komponen induktansi XK dari sebuah transformator diperlihatkan pada gambar 11.18.



Gambar 11.18 : Rangkaian pengganti Trafo sekunder dihubung singkat



Gambar 11.19 : Rangkaian pengganti Trafo dengan komponen resistansi dan induktansi

Kesimpulan dari kedua pengujian trafo, yaitu uji trafo tanpa beban dan pengujian trafo hubung singkat dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Besarnya rugi inti trafo : 20 W
2. Besarnya rugi tembaga : 60 W
3. Parameter tegangan hubung singkat UK : 9,54%

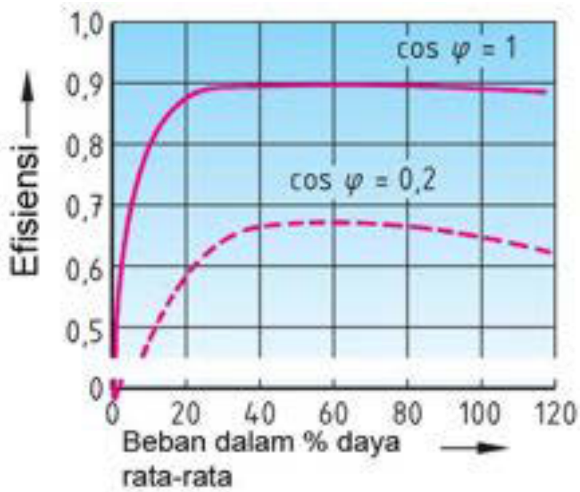
11.8. Efisiensi Transformator

Efisiensi trafo dinyatakan dalam angka prosentase, pada faktor kerja cos φ=0,2 efisiensi trafo mencapai sekitar 65%. Pada beban dengan faktor kerja cos φ = 1,0, efisiensi trafo bisa mencapai 90%, gambar 11.19.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_{VFe} + Pcu}$$

Trafo berdaya kecil 250 VA; cos φ = 0,7; rugi inti 10 Watt dan rugi tembaga 15 Watt. Efisiensi trafo dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{175W}{175W + 10W + 15W} = \frac{175w}{200w} = \mathbf{0{,}875}$$



Gambar 4.21 : Grafik hubungan antara efisiensi dan beban trafo

11.9. Akibat Hubung Singkat

Kejadian hubung singkat pada trafo bisa berakibat fatal, misalnya belitan primer atau sekunder terbakar. Penyebabnya bisa karena isolasi antara belitan primer dan sekunder cacat dan terkelupas, atau terjadi hubungsingkat pada belitan sekundernya.

Untuk menghindari akibat buruk hubungsingkat trafo dipasang kan alat pengaman, misalnya sekering atau pemutus daya Circuit Breaker. Ketika terjadi hubung singkat akan terjadi arus hubungsingkat ambar 11.20 yang sangat besar dan bisa merusak belitan tembaga baik sisi primer atau sisi belitan sekundernya.

Besarnya arus hubung singkat :

$$I_{KD} = \frac{I_n}{U_K} \cdot 100\%$$

IKD Arus hubungsingkat

In   Arus nominal

Uk   Tegangan hubungsingkat

Sebuah trafo 220 V/24 V, arus 1 A/9 A, prosentase hubung singkat Uk= 5%, hitung besarnya arus hubung singkat.

$$I_{KD} = 100\% \cdot \frac{I_n}{U_K} = 100\% \cdot \frac{9A}{5\%} = \mathbf{180\ A.}$$

$$i_s \geq 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{KD}$$

$$i_s \geq 2.55 \cdot I_{KD} = 2.55 \times 180\ A = \mathbf{459\ A.}$$

11.10. Autotransformator

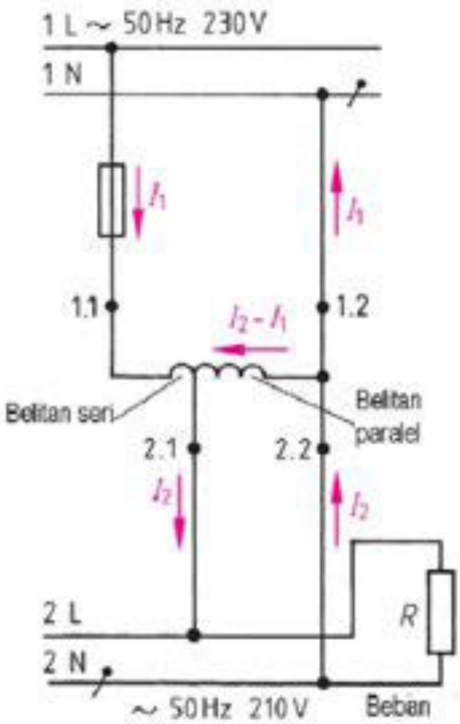
Autotransformator termasuk trafo yang dibuat dengan rancangan berbeda, karena belitan primer dan belitan sekunder menggunakan satu belitan. Sehingga ada belitan yang terhubung seri dan ada belitan yang terhubung secara paralel, gambar 11.21.

Rumus untuk Autotransformator tetap berlaku persamaan :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Autotrafo jumlah belitan primer N1 300 belitan, jumlah belitan sekunder N2 sebanyak 207 belitan. Jika tegangan sekunder U2 sebesar 270 Volt. Besarnya tegangan sisi primer.

$$U_1 = \frac{U_1.N_1}{N_2}\ \frac{207V.300V}{270} = 230\ \text{V}$$



Gambar 11.21 : Rangkaian listrik Autotransformator

Konstruksi Autotransformator yang umum kita temukan berbentuk bulat seperti gambar 11.22. Tegangan primer konstan dihubungkan dengan jala-jala PLN. Tegangan sekunder berubah-ubah dengan cara memutar kenop yang yang dapat berputar. Dengan memutar kenop pada sudut tertentu, menentukan jumlah belitan sekundernya, sehingga tegangan sekunder berbanding dengan sudut putaran kenop putarnya.

Autotrafo memiliki efisiensi yang baik sekali mendekati 98% dikarenakan rugi-rugi tembaga dan rugi inti trafo sangat kecil. Tetapi yang harus diperhatikan pemasangan penghantar phasa dan netral tidak boleh terbalik, karena berakibat tegangan 220 V yang membahayakan.



Gambar 11.22 : Autotrafo dengan bentuk inti toroida

4.11. Trafo Pengukuran Arus

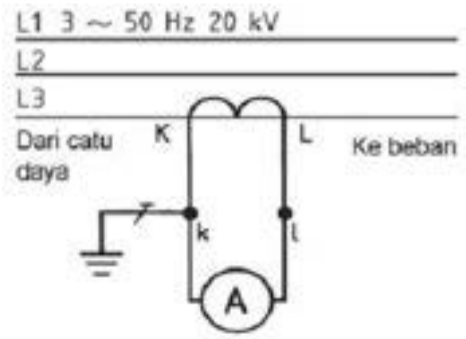
Untuk pengukuran arus beban yang besar digunakan trafo pengukuran arus (Current Transformer =CT). Trafo CT dipasang pada jala-jala seperti gambar-4.31 dengan terminal K menghadap sisi supply daya, dan terminal L menghadap sisi beban. Terminal K harus dihubungkan dengan bumi untuk mengaman kan dari tegangan sentuh yang berbahaya jika ada gangguan kerusakan CT.

Ampermeter yang digunakan memiliki batas ukur 1 A atau 5 A dengan skala pengukuran sesuai kebutuhan. Yang perlu diperhatikan ratio arus primer dan arus sekunder trafo CT (CT ratio 300A/5A)

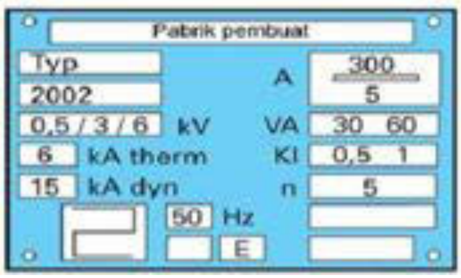
Jika terjadi kerusakan pada alat ukur atau alat kontrol yang dihubungkan dengan trafo pengukuran arus CT, maka sisi sekunder trafo arus harus

dihubungsingkatkan. Jika tidak akan berbahaya karena akan menimbulkan tegangan induksi yang sangat tinggi dan berbahaya.

Spesifikasi teknis trafo CT dapat dibaca pada nameplate yang menempel di bagian badan trafo CT gambar 11.25. Informasi yang terkandung mencakup data-data sbb:



Gambar 11.23 : Pengukuran dengan Trafo Arus



Gambar 11.24 : Nameplate Trafo Arus



Gambar 11.25 : Keterangan nameplate Trafo Arus

Tegangan nominal : 0,5/ 3/ 6 kV

Ratio arus : 300 A / 5 A

Arus thermal : 6 kA

Arus dinamik : 15 kA

Daya trafo : 30- 60 VA

Presisi pengukuran : 0,5 – 1,0 %

Frekuensi : 50 Hz

Trafo arus dalam bentuk portabel untuk kebutuhan pemeriksaan atau pemeliharaan dipakai jenis tang amper dengan sistem digital gambar 11.26. Cara penggunaannya sangat praktis, tekan tang amper masukkan kesalah satu kabel phasa yang akan diukur, periksa batas ukurnya dan penunjukan amper terbaca secara digital.

Tang amper juga dapat mengukur daya listrik KW-meter dengan menghubungkan kabel clip-on tegangan ke phasa R, S, T dan N.

Tang amper sangat bermanfaat untuk mengukur arus beban tiap-tiap phasa untuk mengetahui keseimbangan arus. Arus beban yang tidak seimbang berpotensi merusak alat listrik. Dengan metode tertentu tang amper bisa digunakan untuk melacak jika terjadi pencurian listrik yang disengaja.



Gambar 11.26 : Aplikasi Trafo arus sebagai meter potable



11.3 Rangkuman

- Mesin listrik dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu mesin listrik statis dan mesin lsitrik dinamis. Mesin listrik statis adalah transformator, mesin listrik dinamis terdiri atas motor listrik dan generator.
- Transformator :

  a). memindahkan daya listrik dari satu sisi ke sisi lainnya.

  b). tidak ada perubahan frekuensi

  c). bekerja berdasarkan induksi elektromagnetis

  d). dua rangkaian terjadi mutual induksi saling mempengaruhi
- Transformator ideal adalah trafo yang rugi-ruginya nol, artinya daya pada belitan primer sama dengan daya dibelitan sekunder.
- Perbandingan tegangan primer dan sekunder disebut perbandingan transformasi. Perbandingan transformasi (U) juga berlaku pada perbandingan belitan primer dan sekunder.
- Tegangan sekunder yang dihasilkan berbeda sudut phasa tegangan primer dengan sekunder sebesar 180^0
- Inti trafo dibuat dari bahan ferro magnetis berupa plat-plat tipis yang ditumpuk menjadi satu sehingga membentuk inti dengan ketebalan tertentu.
- Ada beberapa jenis inti trafo, diantaranya, bentuk EI, bentuk L, bentuk M, bentuk UI.
- Spesifikasi teknik sebuah transformator dicantumkan dalam nameplate, mencakup data pabrik pembuat, daya trafo, tegangan primer, tegangan sekunder, arus primer, arus sekunder, frekuensi dan impendansi trafo.
- Ada dua jenis kerugian dalam transformator, yaitu rugi inti dan rugi tembaga.
- Untuk mengukur rugi inti dilakukan dengan pengujian trafo tanpa beban dan untuk mengukur rugi tembaga dilakukan dengan pengujian trafo hubung singkat.

- Efisiensi trafo dinyatakan dalam angka prosentase, merupakan perbandingan antara daya output dengan daya input trafo.
- Autotransformator termasuk trafo yang dibuat dengan rancangan berbeda, karena belitan primer dan belitan sekunder menggunakan satu belitan.
- Trafo pengukuran ada dua jenis, yaitu trafo pengukuran tegangan (Potensial Transformer) dan trafo pengukuran arus (Current Transformer).
- Trafo pengukuran tegangan (Potensial Transformer) menurunkan dari tegangan menengah atau tegangan tinggi menjadi tegangan pengukuran, misalnya 20KV/100V.
- Trafo pengukuran arus (Current Transformer) menurunkan dari arus yang besar menjadi arus pengukuran, misalnya 400A/5A.
- Transformator 3 phasa digunakan untuk sistem listrik berdaya besar, baik pada sistem pembangkitan, transmisi maupun distribusi.
- Trafo 3 phasa memiliki enam belitan. Tiga belitan primer dan tiga belitan sekunder.
- Ada dua metoda hubungan belitan primer dan belitan sekunder, yaitu hubungan Delta (segitiga), belitan sekunder Y (bintang).
- Hubungan transformator 3 phasa antara tegangan primer dan tegangan sekunder perbedaan phasa dapat diatur dengan metoda aturan hubungan jam belitan trafo, contoh : Hubungan Dy5.
- Belitan trafo 3 phasa Dy5, menunjukkan belitan primer dalam hubungan Delta (segitiga), belitan sekunder Y (bintang), beda phasa antara tegangan primer- sekunder 5 x 30^0 = 150^0
- Disamping hubungan bintang dan segitiga dikenal juga hubungan segitiga terbuka (open delta- VV conection) dan hubungan Zig-zag.
- Untuk mendinginkan trafo dipakai minyak trafo yang berfungsi sebagai isolasi antara belitan primer dan sekunder.



- Paralel dua transformator dilakukan dengan cara menyambungkan secara paralel dua transformator. Syarat paralel: tegangan harus sama, daya trafo mendekati sama, impedansi trafo sama.

11.4 Tugas

1) Berbagai macam transformator pada frekwensi rendah yang tersedia di pasaran dengan berbagai ukuran daya, mulai daya kecil hingga daya besar, berbagai fungsi mulai dari transformator Daya, hingga ke pemakaian alat ukur. Carilah informasi dalam bentuk gambar dan data teknis serta kegunaan dari transformator yang sering digunakan. Minimal 10 Macam dan type , sebutkan spesifikasinya teknis, kegunaannya dan aplikasinya.
2) Berikan contoh aplikasi transformator untuk frekwensi tinggi perhatikan bentuknya , ukuran dan dimensinya, mengapa masing2 penerapan berbeda bentuk dan ukurannya? Carilah contohnya minimal 10 macam yang disertai gambar, spesifikasi dan aplikasi dan penjelasannya

11.5 Tes Formatif

1. Daya listrik 4 MW disalurkan sejauh 100 Km dengan tegangan 220 V, Faktor kerja Cosφ =1. Hitung a) besarnya arus yang mengalir, b) jika drop tegangan yang dijinkan 10%. Hitunglah penampang kawat penghantar yang dipakai.
2. Daya listrik 4 MW disalurkan sejauh 100 Km dengan tegangan 150KV faktor kerja Cosφ =1

   a) hitunglah besarnya arus yang lewat penghantar.

   b) hitung penampang kawat jika drop tegangan 10%.
3. Trafo 200 Watt, memiliki tegangan primer 220 V dan tegangan sekunder 20 V. Jika jumlah belitan primer 1000 lilitan. Hitunglah

   a) jumlah belitan sekunder.

   b) hitung besarnya arus primer dan arus sekunder.
4. Gambarkan pengawatan dan hubungan alat ukur, serta jelaskan urutan proses pengujian: a) trafo tanpa beban b) trafo hubung singkat.

5. Gambarkan bentuk gelombang sinusoida dari tegangan primer trafo, arus magnetisasi dan tegangan sekunder transformator.
6. Gambarkan rangkaian pengganti trafo, yang terdiri atas komponen resistansi R dan induktansi XL serta beban.
7. Trafo berdaya kecil 450 VA; cos φ = 0,7; rugi inti 50 Watt dan rugi tembaga 75 Watt. Hitung efisiensi trafo.
8. Transformator 3 phasa memiliki data nameplate belitan trafo Dy5. Jelaskan makna dari kode tersebut.
9. Trafo distribusi dilengkapi dengan alat relay Buchholz, gambarkan skematik alat tersebut dan cara kerjanya alat tersebut.
10. Dua buah trafo 20 KVA tegangan 20KV/400 V dihubungkan segitiga terbuka terhubung dengan sistem 3 phasa. Gambarkan hubungan kedua trafo tersebut dan berapa daya yang dihasilkan dari gabungan dua trafo tersebut.
11. Trafo distribusi untuk supply daerah perumahan dipakai hubungan Yzn5. Gambarkan hubungan belitan primer dan sekunder, dan jelaskan ketika terjadi beban tidak seimbang pada salah satu phasanya.
12. Ada tiga tapping sesuai nameplate, yaitu pada tegangan 20.800 V, tegangan 20.000 V dan tegangan 19.200 V. Jelaskan cara kerja tapping dan mengapa tapping dilakukan pada trafo distribusi.
13. Dua buah trafo distribusi 3 phasa akan dihubungkan paralel, sebutkan syarat agar kedua trafo dapat diparalelkan dan jelaskan prosedur paralel dengan menggunakan gambar pengawatan kedua trafo tsb.



11.6 Jawaban Tes Formatif

1. Daya listrik 4 MW disalurkan sejauh 100 Km dengan tegangan 220 V, Faktor kerja Cosij =1. Hitung a) besarnya arus yang mengalir, b) jika drop tegangan yang dijinkan 10%. Hitunglah penampang kawat penghantar yang dipakai.
2. Daya listrik 4 MW disalurkan sejauh 100 Km dengan tegangan 150KV faktor kerja Cosφ =1
   a) hitunglah besarnya arus yang lewat penghantar.
   b) hitung penampang kawat jika drop tegangan 10%.
3. Trafo 200 Watt, memiliki tegangan primer 220 V dan tegangan sekunder 20 V. Jika jumlah belitan primer 1000 lilitan. Hitunglah
   a) jumlah belitan sekunder.
   b) hitung besarnya arus primer dan arus sekunder.
4. Gambarkan pengawatan dan hubungan alat ukur, serta jelaskan urutan proses pengujian: a) trafo tanpa beban b) trafo hubung singkat.
5. Gambarkan bentuk gelombang sinusoida dari tegangan primer trafo, arus magnetisasi dan tegangan sekunder transformator.
6. Gambarkan rangkaian pengganti trafo, yang terdiri atas komponen resistansi R dan induktansi XL serta beban.
7. Trafo berdaya kecil 450 VA; cos ij = 0,7; rugi inti 50 Watt dan rugi tembaga 75 Watt. Hitung efisiensi trafo.
8. Transformator 3 phasa memiliki data nameplate belitan trafo Dy5. Jelaskan makna dari kode tersebut.
9. Trafo distribusi dilengkapi dengan alat relay Buchholz, gambarkan skematik alat tersebut dan cara kerjanya alat tersebut.
10. Dua buah trafo 20 KVA tegangan 20KV/400 V dihubungkan segitiga terbuka terhubung dengan sistem 3 phasa. Gambarkan hubungan kedua trafo tersebut dan berapa daya yang dihasilkan dari gabungan dua trafo tersebut.
11. Trafo distribusi untuk supply daerah perumahan dipakai hubungan Yzn5. Gambarkan hubungan belitan primer dan sekunder, dan

jelaskan ketika terjadi beban tidak seimbang pada salah satu phasanya.

12. Ada tiga tapping sesuai nameplate, yaitu pada tegangan 20.800 V, tegangan 20.000 V dan tegangan 19.200 V. Jelaskan cara kerja tapping dan mengapa tapping dilakukan pada trafo distribusi.
13. Dua buah trafo distribusi 3 phasa akan dihubungkan paralel, sebutkan syarat agar kedua trafo dapat diparalelkan dan jelaskan prosedur paralel dengan menggunakan gambar pengawatan kedua trafo tsb.

11.7 Lembar Kerja

Percobaan I Transformator Tanpa Beban

Tujuan Praktek

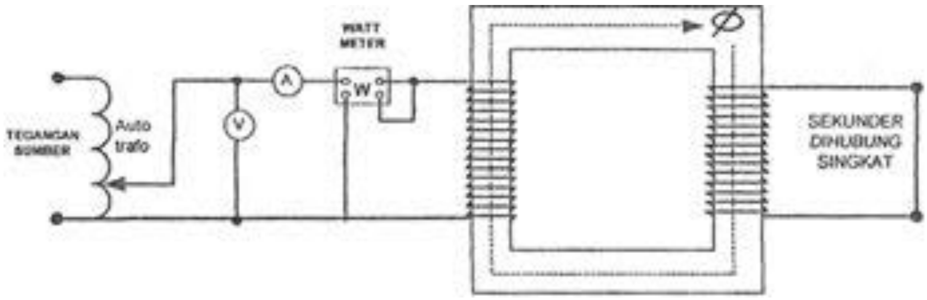
Setelah melakukan praktek diharapkan peserta didik dapat:

1. **Membaca gambar rangkaian percobaan transformator 1 fasa tanpa beban.**
2. **Trampil memasang rangkaian percobaan transformator 1 fasa tanpa beban secara baik dan benar.**
3. **Trampil melakukan percobaan pengukuran transformator 1 fasa tanpa beban sesuai dengan skema yang diberikan.**
4. **Trampil menentukan parameter dari trafo seperti nilai R_c, X_m dan Z_0 setelah melakukan percobaan.**
5. **Trampil dan mampu menjelaskan parameter dari trafo yang diukur.**

Landasan Teori

Pengukuran beban nol pada transformator adalah bertujuan untuk mendapatkan harga parameter dari transformator tersebut, seperti nilai R_c (tahanan rugi besi), X_m (reaktansi pemaknetan) serta nilai Z_0 (impedansi

beban nol). Pada percobaan ini kita akan mengukur besar tegangan, arus, dan daya pada saat sisi sekunder tidak dihubungkan dengan beban (terbuka). Sedangkan sisi primer dipasang alat ukur seperti voltmeter, Ampermeter dan Wattmeter. Seperti gambar 2.1



Gambar 2.1. Percobaan Trafo Beban Nol

Dari pengukuran akan diperoleh:Tegangan beban nol pada sisi primer (V_1)Arus tanpa beban pada saat primer (I_0) arus yang hanya dipakai oleh trafo.
Daya tanpa beban pada sisi primer (P_1) atau disebut P_0

Pengukuran trafo beban nol adalah pada saat primer dihubungkan dengan sumber tegangan sedangkan sekunder dibiarkan terbuka. Pada kondisi ini dilakukan pengukuran terhadap arus yang mengalir disisi primer dan disebut I_0, dan tegangan disisi primer yaitu V_1 disebut V_0 serta daya listrik pada sisi primer P_1 yang digunakan pada beban nol disebut P_0.

Pada saat sisi primer dialiri arus listrik maka sisi primer membangkitkan fluk maknet, dan fluk maknet ini akan membangkitkan tegangan induksi disisi sekunder demikian juga disisi primer. Saat terjadi induksi maknet ini transformator akan bekerja terus menerus membangkitkan fluk maknet melalui reaktansi pemaknetan X_m sedangkan akibat dari proses pemaknetan ini akan terjadi rugi-rugi pada inti trafo yang merupakan rugi-rugi panas dan sebanding dengan waktu yang digunakan, makin lama berarti trafo akan semakin panas dan sebanding dengan waktu yang digunakan, makin lama berarti trafo akan semakin panas. Rugi panas ini disebut rugi Histeris dan arus eddy akibat adanya arus pusar pada inti saat pemaknetan.



Agar panas pada inti trafo dapat dieliminir maka dibuatlah inti trafo tersebut dari lapisan plat besi yang tipis sehingga ada celah udara pada lapisan inti tersebut. Rugi panas ini akan timbul akibat adanya arus (I) yang mengalir pada lilitan trafo melalui hambatan (R) secara terus menerus sehingga rugi panas ini dapat dinyatakan sebagai daya (P_1) yang hilang sebesar I^2 R watt.

Sehingga dengan data tersebut dapat dihitung parameter trafo dengan rumus berikut:

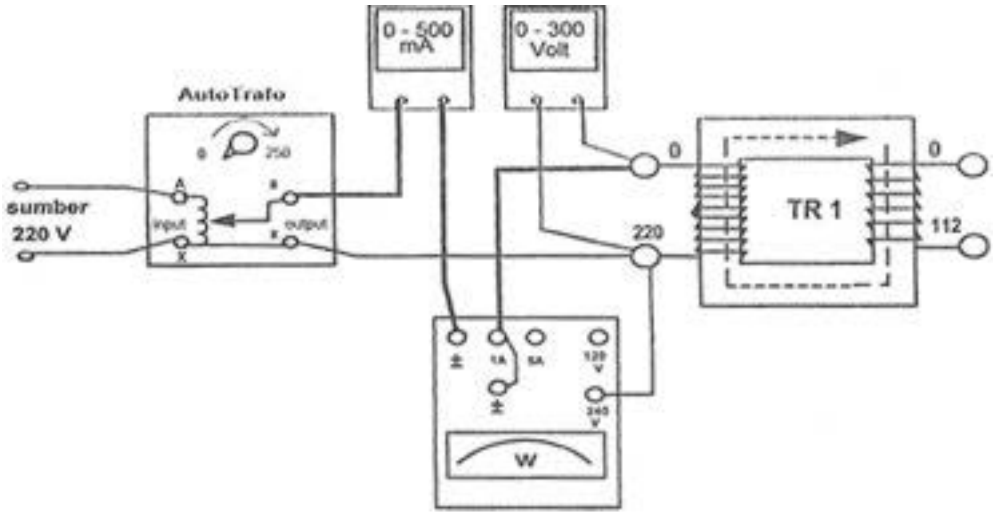
$$R_C = \frac{V_1^2}{P_1} \qquad Z_0 = \frac{V_1}{I_0} = \frac{jXmR_c}{R_c + jXm} Xm = \sqrt{(Z_0^2 - R_c^2)}$$

I. Alat dan Bahan

Tabel 2.1. Alat dan Bahan JOB II

No	Uraian Materi	Satuan	Vol	Keterangan
1.	Trainer Trafo 1 Fasa dan 3 Fasa Tiap trafo 1 fasa dengan kemampuan: - Primer In 2 A tegangan 220 Volt frekuensi 50 Hz - Sekunder 4 A tegangan 110 Volt frekuensi 50 Hz Autotrafo 1 fasa 2kVA tegangan output 0 - 250 Volt	Unit	1	
2.	Kabel Jumper		Secukupnya	
3.	Watt meter	Buah	1	
4.	Volt Meter 0 – 300 Volt	Buah	1	
5.	Amper Meter 0 – 500 mA	Buah	1	

II. Rangkaian Percobaan



Gambar 2.2. Rangkaian Percobaan Trafo Beban Nol

III. Langkah Kerja

1. Siapkan semua bahan dan peralatan yang diperlukan.
2. Pasang instalasi seperti gambar 2.2, perhatikan semua terminal sambungan dan pasang dengan baik. Posisi pengatur tegangan pada autotrafo posisi NOL
3. Periksakan rangkaian dengan instruktur praktikum, jika sudah benar sambungkan dengan sumber tegangan. (**Ingat jika terjadi kerusakan akibat kelalaian yang menyebabkan peralatan rusak atau terbakar, harus diganti oleh yang bersangkutan / atau grup yang praktikum**).
4. Lakukan percoaan sesuai data pada tabel percobaan, atur tegangan dengan memutar pengatur pada autotrafo kemudian catat pada tabel percobaan tersebut.
5. Selesai percobaan buka kembali rangkaian percobaan.
6. **Rapikan dan bersihkan semua ruangan**, dan **kembalikan semua peralatan ketempat semula.**
7. Buatlah laporan hasil percobaan dan kesimpulan anda. Hitung dan bandingkan harga masing-masing parameter yang didapatkan untuk setiap nilai percobaan (R_c, Z_0, dan X_m) catat kedalam Tabel percobaan. **Kumpulkan laporan sebelum praktikun berikutnya dimulai.**



IV. Hasil Percobaan

Tabel 2.2. Hasil Percobaan Job II

NO	Tegangan V_1 V_0 (Volt)	Arus I_0 (Amper)	Daya Beban Nol P_0 (Watt)	Hasil Perhitungan		
				R_c (Ohm)	Z_0 (Ohm)	X_m (Ohm)
1	50 Volt					
2	100 Volt					
3	150 Volt					
4	220 Volt					

V. Pertanyaan dan Tugas

1. Gambarkan grafik hubungan antara tegangan dan arus beban nol.
2. Gambarkan grafik hubungan antara tegangan dan daya beban nol.
3. Gambarkan grafik hubungan antara impedansi dan reaktansi beban nol.



Percobaan 2 Hubung Singkat Transformator 1 Fasa

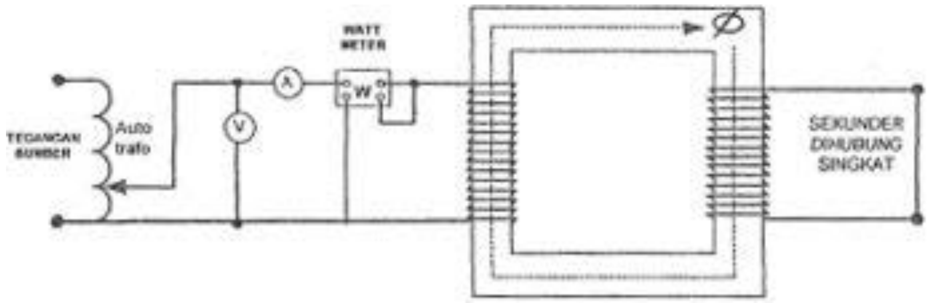
Tujuan Praktek

Setelah melakukan praktek diharapkan peserta didik dapat:

1. Membaca gambar rangkaian percobaan transformator 1 fasa hubung singkat.
2. Trampil memasang dan merangkaian percobaan transformator 1 fasa hubung singkat secara baik dan benar.
3. Trampil melakukan percobaan pengukuran transformator 1 fasa hubung singkat sesuai dengan skema yang diberikan.
4. Dapat menentukan parameter ekivalen dari trafo setelah hubung singkat seperti nilai R_{ek}, X_{ek} dan Z_{ek} setelah melakukan percobaan.
5. Dapat menjelaskan cara percobaan hubung singkat trafo 1 fasa dan menentukan tegangan hubung singkat trafo tersebut.

Landasan Teori

Pengukuran hubung singkat pada transformator adalah bertujuan untuk mendapatkan harga parameter ekivalen dari transformator tersebut, seperti nilai $R_{ekivalen}$ (tahanan ekivalen), $X_{ekivalen}$ (reaktansi ekivalen) serta nilai $Z_{ekivalen}$ (impedansi ekivalen). Pada percobaan ini kita akan mengukur besar tegangan hubung singkat, arus hubung singkat, dan daya hubung singkat pada sisi primer, saat sisi sekunder dihubung singkat. Jadi sisi primer dipasang alat ukur seperti voltmeter, Ampermeter dan Wattmeter. Seperti gambar 3.1.



Gambar 3.1. Percobaan Trafo Hubung Singkat

Cara melakukan percobaan hubung singkat trafo 1 fasa

Syarat utama harus diketahui arus nominal trafo yang akan dihubung singkat.

Seperti gambar 3.1. Apabila rangkaian dihubungkan ke sumber tegangan maka kita atur tegangan ke trafo yang dihubung singkat melalui autotrafo. Tegangan dinaikan perlahan-lahan sambil melihat arus yang mengalir sampai mencapai arus nominal (In) trafo. Pada saat arus nominal trafo terpenuhi maka pengaturan tegangan dihentikan (stop). Besarnya tegangan yang terbaca saat arus nominal terpenuhi maka itu adalah besar tegangan hubung singkat dari trafo tersebut dalam satuan Volt.

Persentase tegangan hubung singkat trafo dapat dihitung dengan :

$$\% V_{HS} = \frac{V_{HS}}{V_{nom}} x\ 100\ \%$$

V_{HS} = Tegangan hubung singkat….(Volt)

V_{nom} = Tegangan nominal…………(Volt)

Sehingga dengan data tersebut dapat dihitung parameter trafo dengan rumus berikut:

$$\boldsymbol{R_{ek} = \frac{P_{HS}}{(I_{HS})^2} ohm Z_{ek} = \frac{V_{HS}}{I_{HS}} = R_{ek} + jX_{ek} X_{ek} = \sqrt{(Z_{ek}^2 - R_{ek}^2)}}$$

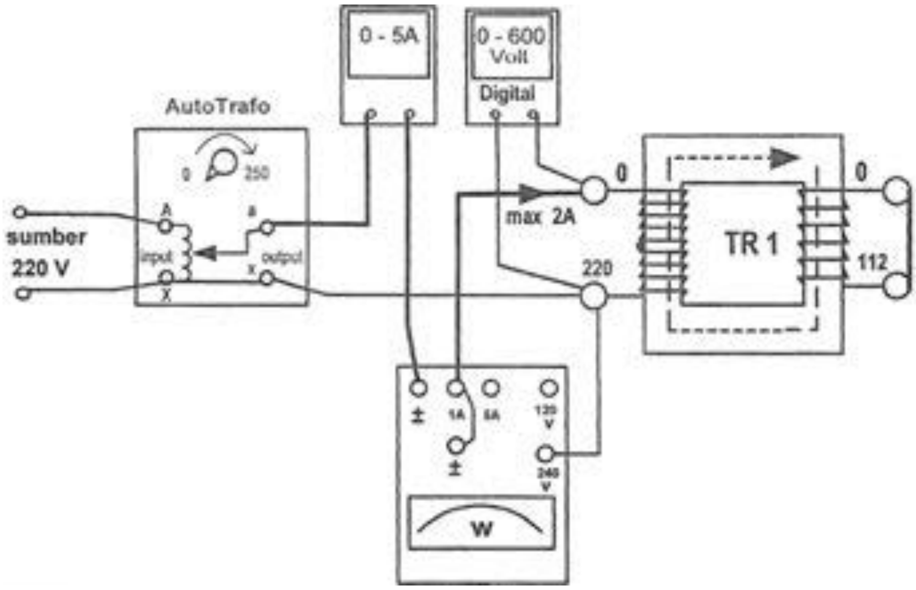


I. Alat dan Bahan

Tabel 3.1. Alat dan Bahan JOB III

No	Uraian Materi	Satuan	Vol	Keterangan
1.	Trainer Trafo 1 Fasa dan 3 Fasa Tiap trafo 1 fasa dengan kemampuan daya 500 VA: - Primer In 2 A tegangan 220 Volt frekuensi 50 Hz - Sekunder 4 A tegangan 110 Volt frekuensi 50 Hz Autotrafo 1 fasa 2kVA tegangan output 0 -250 Volt	Unit	1	
2.	Kabel Jumper		Secukupnya	
3.	Watt meter	Buah	1	
4.	Volt Meter 0 – 300 Volt	Buah	1	
5.	Amper Meter 0 – 500 mA	Buah	1	

II. Rangkaian Percobaan



Gambar 3.2. Rangkaian Percobaan Trafo Hubung Singkat

III. Langkah Kerja

1. Bacalah terlebih dahulu kompetensi dan landasan teori dari percobaan yang akan dilaksanakan.
2. Siapkan semua bahan yang diperlukan untuk percobaan.
3. Pahami rangkaian yang akan dicobakan dan rakitlah rangkaian seperti Gambar 3.2 dengan benar
4. Pastikan semua sambungan sudah benar. Lapor dengan instruktur praktikum sebelum dihubungkan dengan sumber tegangan untuk menghindari resiko dan kesalahan.
5. Hubungkan rangkaian ke sumber tegangan.
6. Atur tegangan melalui autotrafo secara perlahan-lahan seperti yang di Tabel percobaan sehingga **arus yang mengalir dibatasi mulai dari 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 (sampai sebesar arus nominal trafo)**
7. Baca dan catat ke Tabel percobaan setiap penunjukan alat ukur seperti ampermeter (A) yaitu arus, ini dinamakan arus hubung singkat (I_{HS}). Sedangkan tegangan yang terbaca pada volt meter (V) adalah tegangan hubung singkat (V_{HS}) pada saat arus yang mengalir pada trafo sebesar arus nominal trafo tersebut, dan daya hubung singkat (P_{HS}) pada watt meter.



8. Selesai pengukuran matikan sumber arus ke rangkaian dan buka rangkaian kembali, kemudian rapikan alat-alat percobaan.
9. Kembalikan semua peralatan yang digunakan ketempat semula.
10. Buat laporan percobaan dengan lengkap. Apa kesimpulan anda tenang percobaan ini.

IV. Hasil Percobaan

Tabel 3.2. Hasil Percobaan Job III

NO	ARUS Hub. Singkat A_{HS} (Amper) Diatur	TEGANGAN Hub. Singkat V_{HS} (Volt)	DAYA Hub. Singkat P_{HS} (Watt)	Hasil Perhitungan		
				R_{ek} (Ohm)	Z_{ek} (Ohm)	X_{ek} (Ohm)
1	0,5 amper					
2	1,0 amper					
3	1,5 amper					
4	2,0 amper					

<u>Catat data-data trafo, seperti :</u>

1. Daya trafo.
2. Tegangan primer dan sekunder.
3. Arus primer dan sekunder.
4. Frekuensi.
5. Ukur tahanan murni kumparan primer dan sekunder dengan multi tester.

Dari data pegukuran tersebut, hitung parameter ekivalen dari tranformator, kemudian catat pada Tabel Percobaan dan tentukan berapa persen tegangan hubung singkat trafo tersebut.



V. Pertanyaan dan Tugas

1. Apa penyebabnya untuk percobaan hubung singkat harus menggunakan autotrasformator? Jelaskan jaban anda.

2. Bererapa besar arus yang boleh melewati amper meter saat percobaan hubung singkat trafo 1 fasa tersebut ? Jelaskan dengan ringkas.

3. Jelaskan apa akibatnya jika dalam percobaan hubung singkat ini terlewati besar arus nominal dari trafo yang cukup besar yaitu lebih dari 25 % daya trafo.

Kegiatan Belajar 12 : RANGKAIAN R L C

12.1 Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari modul ini siswa dapat:

- Menjelaskan sifat beban Resistor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban Kapasitor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban Induktor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban hubungan seri Resistor dengan Kapasitor pada rangkaian arus bolak balik,dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban hubungan seri Resistor dengan Induktor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban hubungan seri Resistor , kapasitor dan Induktor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban hubungan Paralel Resistor dengan Kapasitor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban hubungan Paralel Resistor dengan Induktor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menjelaskan sifat beban hubungan Paralel antara Resistor, kapasitor dengan Induktor pada rangkaian arus bolak balik, dan hubungannya dengan arus tegangan dan dayanya.
- Menghitung tegangan, arus , daya dan faktor daya pada rangkaian listrik arus bolak-balik.
- Menganalisis rangkaian seri arus bolak-balik.
- Mampu menghitung impedansi, faktor daya, serta frekuensi resonansi pada rangkaian seri arus bolak-balik.
- Menggambar diagram phasor impedansi, arus dan tegangan saat resonansi.



- Menghitung impedansi, arus, daya, faktor daya, serta frekuensi resonansi pada rangkaian paralel arus bolak-balik.

12.2 Uraian Materi

Komponen Pasif pada Rangkaian Bolak-Balik

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa contoh penerapan komponen elektronik pada rangkaian aplikasi; seperti misalnya rangkaian R, L dan C pada jaringan arus bolak-balik, transformator, disertai beberapa contoh perencanaan.

12.1. Resistansi Semu Rangkaian Bolak-Balik

Yang dimaksud dengan rangkaian arus bolak-balik adalah hubungan listrik dari sumber energi listrik arus bolak-balik dengan satu atau lebih alat pemakai listrik. Energi ini dapat berupa generator arus bolak-balik, transformator atau jaringan arus bolak-balik.

Suatu peralatan listrik secara ekivalen dapat terdiri sebuah resistor (R), reaktansi induktif (X_L), atau reaktansi kapasitif (X_C). Dalam pemakaian energi listrik seringkali dalam suatu rangkaian arus bolak-balik kita banyak mejumpai resistor-resistor tersebut dihubungkan secara paralel, seri atau hubungan campuran (seri-paralel).

Alat pemakai listrik itu dapat pula merupakan pesawat listrik, seperti motor-motor listrik. Motor listrik secara kelistrikan dapat digantikan atau dianalogikan sebagai rangkaian dari kombinasi sejumlah resistor dan reaktansi.

Suatu permasalahan rangkaian arus bolak-balik adalah bagaimana menetapkan arus, tegangan dan perbedaan sudut fasa sebagai dasar untuk mengukur sumber dan alat pemakai energi listrik.

Karena setiap alat energi listrik yang menggunakan arus bolak-balik pada dasarnya dapat diekivalenkan menjadi tiga buah resistor efektif/murni (R), reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C).

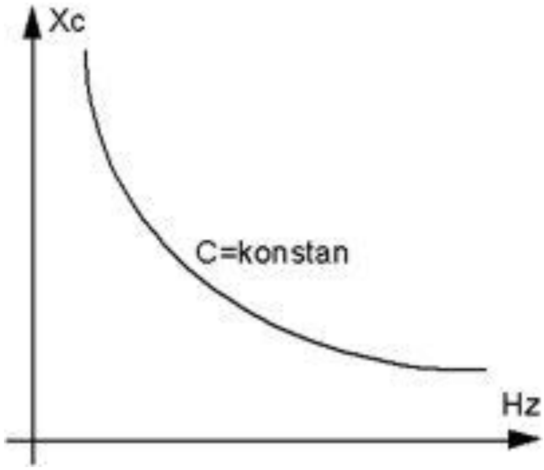
Resistor efektif (resistor Ohm) R; memiliki arah yang sama (sudut beda fasa φ = 0). Nilai sesaat dari tegangan (v) dan arus (i_R) mencapai lintasan nol positif (lintasan nol naik ke arah positif) dimulai secara bersamaan.

Reaktansi induktif (X_L); arus dan tegangan bergeser sejauh 90^0. Vektor arus (i_L) berada ($\pi/2$) di belakang vektor tegangan (v). Didalam diagram bentuk gelombang, arus (i_L) mencapai nol positif ($\pi/2$) sesudah lintasan nol positif tegangan (v).

Reaktansi kapasitif (X_C); arus dan tegangan bergeser sejauh 90^0. Vektor arus (i_C) berada ($\pi/2$) di depan vektor tegangan (v). Didalam diagram bentuk gelombang, arus (i_C) mencapai nol positif ($\pi/2$) sebelum lintasan nol positif tegangan (v).

12.1.1. Arus Bolak-Balik pada Kapasitor

Bilamana sebuah kapasitor dialiri arus bolak-balik, maka pada kapasitor tersebut akan timbul resistansi semu atau disebut juga dengan istilah reaktansi kapasitif dengan notasi (*Xc*). Besarnya nilai reaktansi kapasitif tersebut tergantung dari besarnya nilai kapasitansi suatu kapasitor (F) dan frekuensi (Hz) arus bolak-balik. Gambar 12.1 memperlihatkan hubungan antara resistansi semu (reaktansi kapasitif) terhadap frekuensi arus bolak-balik.



Gambar 12.1 Hubungan reaktansi kapasitif terhadap frekuensi

Besarnya reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan perubahan frekuensi dan kapasitansi suatu kapasitor, semakin kecil frekuensi arus bolak-balik dan semakin kecil nilai kapasitansi suatu kapasitor, maka semakin besar nilai reaktansi kapasitif (Xc) pada kapasitor, sebaliknya semakin besar frekuensi arus bolak-balik dan semakin besar nilai kapasitansi, maka semakin kecil nilai reaktansi kapasitif (Xc) pada kapasitor tersebut Hubungan ini dapat ditulis seperti persamaan 2.1 berikut,

$$Xc = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\,\pi\, f\, C}(\Omega) \qquad (2.1)$$

dimana:

Xc = reaktansi kapasitif (resistansi semu) kapasitor dalam (Ω)

f = frekuensi arus bolak-balik dalam (*Hz*)

C = nilai kapasitansi kapasitor (*Farad*)

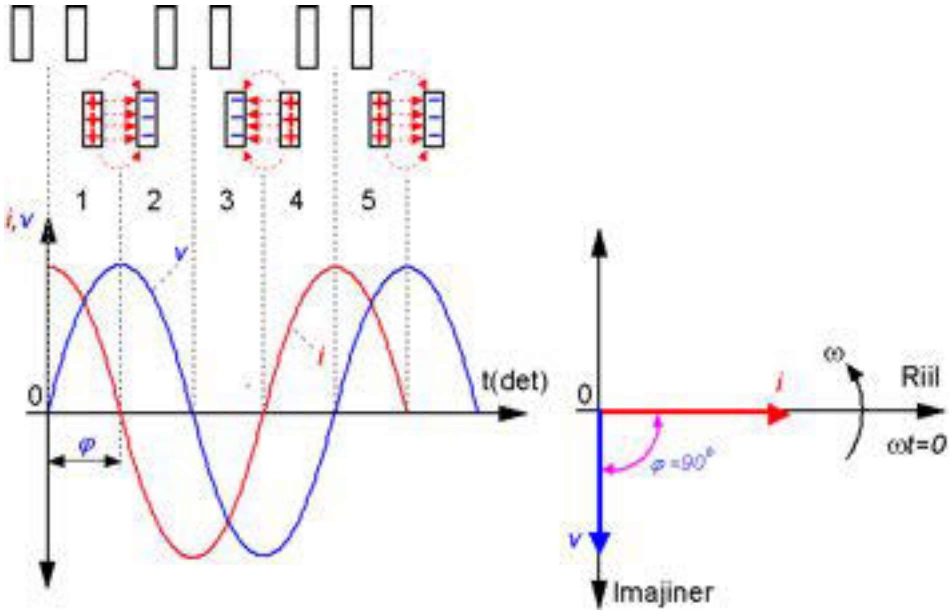
Contoh:

Pada rangkaian arus bolak-balik mempunyai reaktansi kapasitif (resistansi semu) sebesar 1591,5Ω pada frekuensi 1000Hz. Tentukan besarnya kapasitansi kapasitor tersebut.

Penyelesaian:

$$C = \frac{1}{2\,\pi\,f\,Xc} = \frac{1}{2.\pi.1000\,.1591{,}5} = 0{,}1\mu F$$

Perbedaan sudut fasa antara arus (*i*) dan tegangan (*v*) pada kapasitor sebesar -90^0 berada pada kuadran 4 (tegangan tertinggal 90^0 terhadap arus).. Gambar 2.2 memperlihatkan hubungan arus-tegangan bolak-balik pada kapasitor, dimana arus pada saat t_0 mendahului 90 derajad terhadap tegangan.

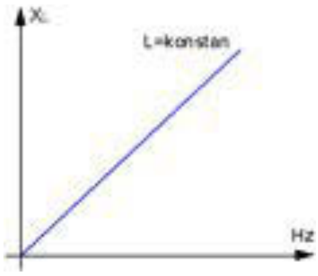


Gambar 12.2 Hubungan arus-tegangan pada kapasitor

Interval ke 1,3 dan 5 adalah pada saat kondisi proses untuk interval waktu pengisian pada kapasitor, sedangkan interval ke 2 dan 4 adalah pada saat kondisi proses interval waktu pengosongan.

12.1.2. Arus Bolak-Balik pada Induktor

Bilamana sebuah induktor dialiri arus bolak-balik, maka pada induktor tersebut akan timbul reaktansi induktif resistansi semu atau disebut juga dengan istilah reaktansi induktansi dengan notasi X_L. Besarnya nilai reaktansi induktif tergantung dari besarnya nilai induktansi induktor L (Henry) dan frekuensi (Hz) arus bolak-balik. Gambar 2.3 memperlihatkan hubungan antara reaktansi induktif terhadap frekuensi arus bolak-balik.



Gambar 12.3 Hubungan reaktansi induktif terhadap frekuensi

Besarnya reaktansi induktif berbanding langsung dengan perubahan frekuensi dan nilai induktansi induktor, semakin besar frekuensi arus bolak-balik dan semakin besar nilai induktor, maka semakin besar nilai reaktansi induktif X_L pada induktor sebaliknya semakin kecil frekuensi arus bolak-balik dan semakin kecil nilai dari induktansinya, maka semakin kecil nilai reaktansi induktif X_L pada induktor tersebut.Hubungan ini dapat ditulis seperti persamaan 2.2 berikut,

$$X_L = \omega L = 2\,\pi\, f\, L(\Omega) \qquad (2.2)$$

dimana:

X_L = reaktansi induktif (resistansi semu) induktor dalam (Ω)

f = frekuensi arus bolak-balik dalam (Hz)

L = nilai induktansi induktor (Farad)

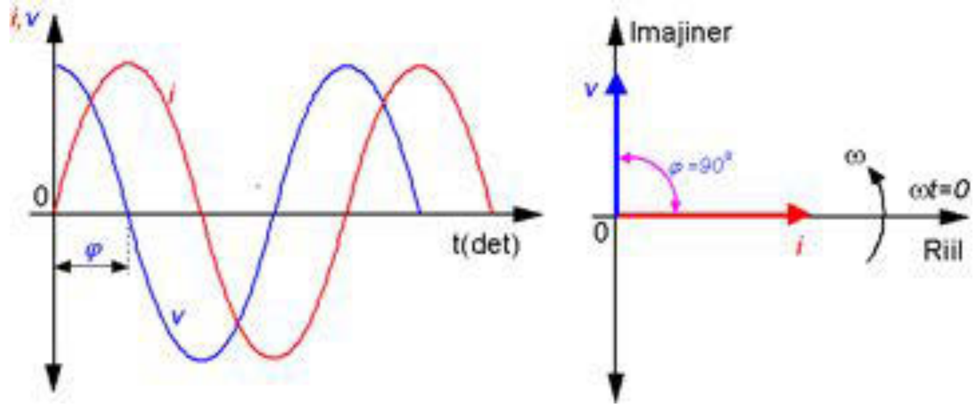
Contoh:

Pada rangkaian arus bolak-balik mempunyai reaktansi induktif (resistansi semu) sebesar 2,5kΩ pada frekuensi 1000Hz. Tentukan besarnya induktansi dari induktor tersebut.

Penyelesaian:

$$L = \frac{X_L}{2\,\pi\, f} = \frac{2500}{2.\pi.1000} = 0{,}4\mathrm{H} = 400mH$$

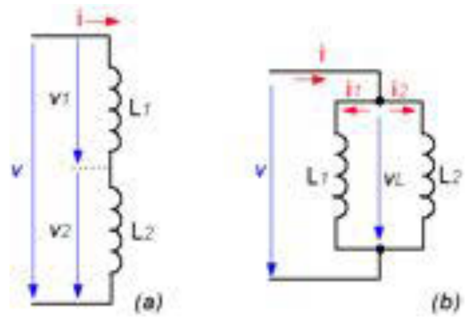
Perbedaan sudut fasa antara arus (*i*) dan tegangan (*v*) pada induktor sebesar 90^0 berada pada kuadran 1 (tegangan mendahului 90^0 terhadap arus). Gambar 2.4 memperlihatkan hubungan arus-tegangan bolak-balik pada induktor, dimana arus pada saat t_0 tertinggal 90^0 terhadap tegangan.



Gambar 12.4 Hubungan arus-tegangan pada induktor

12.1.3. Rangkaian Induktor Tanpa Kopling

Yang dimaksud rangkaian induktor tanpa kopling adalah rangkaian dua induktor atau lebih yang dihubungkan paralel atau seri secara langsung tanpa kopling induktif. Tujuannya adalah untuk memperkecil dan memperbesar nilai reaktansi induktif dan induktansi suatu induktor. Gambar 2.5 memperlihatkan rangkaian induktor tanpa kopling induktif yang terhubung secara paralel.



Gambar 12.5 Rangkaian induktor (a) Seri dan (b) paralel tanpa kopling

Sifat hubungan seri arus yang mengalir melalui induktor L_1 dan L_2 sama, sedangkan tegangan terbagi sebesar v_1 dan v_2. Sebaliknya untuk hubungan paralel arus terjadi pencabangan i_1 dan i_2. Hubungan seri dua induktor ke-n berlaku persamaan seperti berikut

$$Ls = L_1 + L_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots L_n \qquad (2.3)$$

Sedangkan untuk hubungan paralel induktor ke-n adalah

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots\ldots\frac{1}{L_n} \qquad (2.4)$$

bila dua induktor terhubung paralel, maka dapat ditulis seperti berikut

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \qquad (2.5)$$

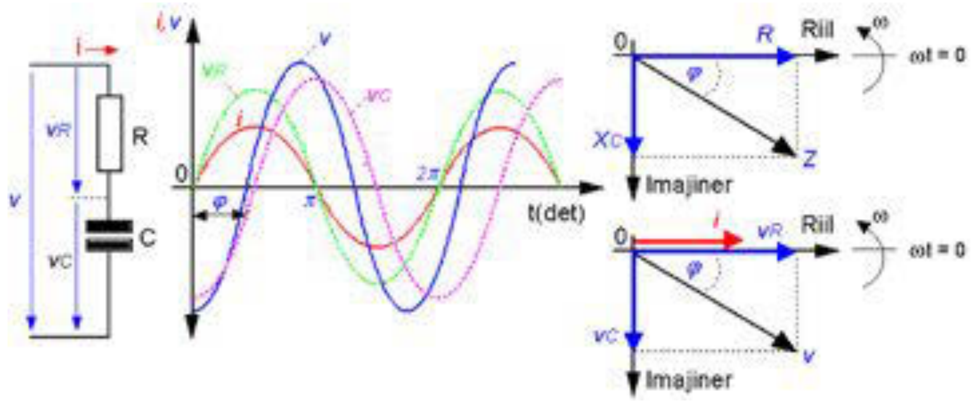
12.2. Rangkaian R-C dan R-L

Ada dua rangkaian yang dapat dihubungkan antara R-C dan R-L, yaitu; R-C, R-L yang dihubungkan secara seri dan R-C, R-L yang dihubungkan secara paralel.

12.2.1. Rangkaian R-C dan R-L Seri

Rangkaian R-C seri, sifat rangkaian seri dari sebuah resistor dan sebuah kapasitor yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik sinusioda adalah terjadinya pembagian tegangan secara vektoris. Arus (i) yang mengalir pada hubungan seri adalah sama besar. Arus (i) mendahului 90^0 terhadap tegangan pada kapasitor (v_C). Tidak terjadi perbedaan fasa antara tegangan jatuh pada resistor (v_R) dan arus (i). Gambar 2.6 memperlihatkan rangkaian seri R-C dan hubungan arus (i),tegangan resistor (v_R)dan tegangan kapasitor (v_C) secara vektoris.

Melalui reaktansi kapasitif (X_C) dan resistansi (R) arus yang sama $i = i_m.sin\ \omega\ t$. Tegangan efektif (v) = $i.R$ berada sefasa dengan arus. Tegangan reaktansi kapasitif (v_C) = $i.X_C$ tertinggal 90^0 terhadap arus. Tegangan gabungan vektor (v) adalah jumlah nilai sesaat dari (v_R) dan (v_C), dimana tegangan ini juga tertinggal sebesar φ terhadap arus (i).



Gambar 12.6 Rangkaian R-C Seri

Dalam diagram fasor, yaitu arus bersama untuk resistor (R) dan reaktansi kapasitif (X_C) diletakkan pada garis ωt = 0. Fasor tegangan resistor (v_R) berada sefasa dengan arus (i), fasor tegangan kapasitor (v_C) teringgal 90^0 terhadap arus (i). Tegangan gabungan vektor (v) adalah diagonal persegi panjang antara tegangan kapasitor (v_C) dan tegangan resistor (v_R). Perbedaan sudut antara tegangan (v) dan arus (i) merupakan sudut beda fasa (φ).

Karena tegangan jatuh pada resistor dan kapasitor terjadi perbedaan fasa, untuk itu hubungan tegangan (*v)* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut;

$$v = \sqrt{v_R{}^2 + v_C{}^2} \qquad (2.6)$$

Hubungan tegangan sumber bolak-balik dan arus yang mengalir pada rangkaian menentukan besarnya impedansi (*Z*) secara keseluruhan dari rangkaian

$$Z = \frac{v}{i} \qquad (2.7)$$

Besarnya perbedaan sudut (φ) antara resistor (*R*) terhadap impedansi (*Z*) adalah

$$\mathrm{R} = Z \cos \varphi \qquad (2.8)$$

Besarnya sudut φ antara kapasitansi (*Xc*) terhadap impedansi (*Z*) adalah

$$\mathrm{Xc} = Z \sin \varphi \qquad (2.9)$$

Besarnya sudut φ antara tegangan (v_C) terhadap tegangan (v_R) adalah

$$\tan \varphi = \frac{v_C}{v_R} \qquad (2.10)$$

Besarnya sudut (φ) antara reaktansi kapasitif (*Xc*) terhadap resistori (*R*) adalah

$$\tan \varphi = \frac{X_C}{R} \qquad (2.11)$$

Bila nilai reaktansi kapasitif (*Xc*) dan Resistansi (*R*) diketahui, maka besarnya resistansi gabungan (impedansi) dapat dijumlahkan secara vektor dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\mathrm{Z} = \sqrt{\mathrm{R}^2 + \mathrm{X}_C{}^2} \qquad (2.12)$$

dimana

Z = impedansi dalam (Ω)

Xc = reaktansi kapasitif (Ω)

Contoh:

Sebuah resistor sebesar 5,6kΩ dan kapasitor 4,7nF dihubungkan secara seri seperti Gambar 2.6. Dihubungan diantara dua terminal dengan tegangan berbentuk sinusioda 10V dengan frekuensi 10kHz. Tentukan nilai-nilai dari



impedansi (Z), arus (i), tegangan pada resistor (v_R), tegangan pada kapasitor (v_C) dan beda fasa (φ)

Penyelesaian:

Menentukan nilai reaktansi kapasitif (Xc) kapasitor

$$Xc = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\,\pi\, f\, C}(\Omega)$$
$$= \frac{1}{2\,\pi\, 10kHz\; 4{,}7nF}$$
$$= 3{,}39k\Omega$$

Menentukan impedansi (Z) rangkaian

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$$

$$Z = \sqrt{5{,}6^2 + 3{,}39^2}$$

$$Z = 6{,}55k\Omega$$

Menentukan arus (i) yang mengalir pada rangkaian

$$i = \frac{v}{Z} = \frac{10\text{V}}{6{,}55\text{k}\,\Omega}$$

$$i = 1{,}53\text{mA}$$

Menentukan besarnya tegangan pada resistor (R)

$$v_R = i \,.\, R$$
$$= 1{,}53\text{mA} \,.\, 5{,}6\text{k}\Omega$$
$$= 8{,}57\ \text{Volt}$$

Menentukan besarnya tegangan pada kapasitor (C)

$$v_C = i \,.\, X_C$$
$$= 1{,}53\text{mA} \,.\, 3{,}39\text{k}\Omega$$
$$= 5{,}19\ \text{Volt}$$

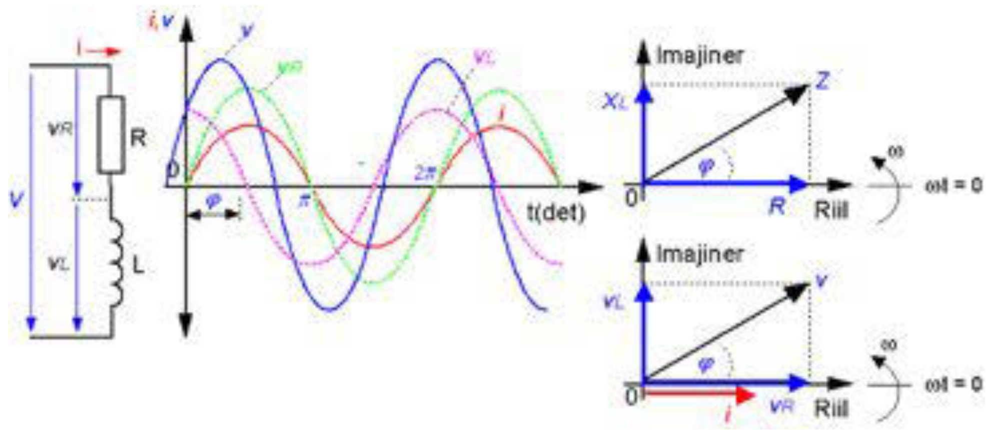
Menentukan beda fasa (φ)

$$\tan\,\varphi = \frac{X_C}{R}$$

$$\tan\,\varphi = \frac{3{,}39k\Omega}{5{,}6k\Omega} = 0{,}605$$

$$\varphi = 31{,}2^0$$

Rangkaian R-L seri, sifat rangkaian seri dari sebuah resistor dan sebuah induktor yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik sinusioda adalah terjadinya pembagian tegangan secara vektoris. Arus (*i*) yang mengalir pada hubungan seri adalah sama besar. Arus (*i*) tertinggal 90 derajad terhadap tegangan induktor (v_L). Tidak terjadi perbedaan fasa antara tegangan jatuh pada resistor (v_R) dan arus (*i*). Gambar 2.7 memperlihatkan rangkaian seri R-L dan hubungan arus (*i*), tegangan resistor (v_R)dan tegangan induktor (v_L) secara vektoris.



Gambar 12.7 Rangkaian R-L Seri

Melalui reaktansi induktif (X_L) dan resistansi (*R*) arus yang sama $i = i_m.\sin\,\omega\,t$. Tegangan efektif (*v*) = *i.R* berada sefasa dengan arus (*i*). Tegangan reaktansi induktif (v_L) = $i.X_L$ mendahului 90^0 terhadap arus (*i*). Tegangan gabungan vektor (*v*) adalah jumlah nilai sesaat dari tegangan resistor (v_R) dan tegangan induktif (v_L), dimana tegangan ini juga mendahului sebesar φ terhadap arus (*i*).

Dalam diagram fasor aliran arus (*i*), yaitu arus yang mengalir melalui resistor (*R*) dan reaktansi induktif (X_L) diletakan pada garis $\omega t = 0$. Fasor (vektor fasa) tegangan jatuh pada resistor (v_R) berada sefasa dengan arus (*i*), fasor tegangan jatuh pada induktor (v_L) mendahului sejauh 90^0. Tegangan gabungan (*v*) adalah diagonal dalam persegi panjang dari tegangan jatuh pada reaktansi induktif (v_L) dan tegangan jatuh pada resistif (v_R). Sudut antara tegangan vektor (*v*) dan arus (*i*) merupakan sudut fasa (φ)

Karena tegangan jatuh pada resistor dan induktor terjadi perbedaan fasa, untuk itu hubungan tegangan (*v)* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut;

$$v = \sqrt{v_R^{\,2} + v_L^{\,2}} \qquad (2.13)$$



Hubungan tegangan sumber bolak-balik dan arus yang mengalir pada rangkaian menentukan besarnya impedansi secara keseluruhan dari rangkaian

$$Z = \frac{v}{i} \quad (2.14)$$

Besarnya sudut (φ) antara resistor (R) terhadap impedansi (Z) adalah

$$R = Z\cos\varphi \quad (2.15)$$

Besarnya sudut (φ) antara reaktansi induktif (X_L) terhadap impedansi (Z) adalah

$$X_L = Z\sin\varphi \quad (2.16)$$

Besarnya sudut (φ) antara reaktansi induktif (X_L) terhadap resistansi (R)

$$\tan\varphi = \frac{X_L}{R} \quad (2.17$$

atau

$$\tan\varphi = \frac{v_L}{v_R} \quad (2.18)$$

Bila nilai (X_L) dan Resistansi (R) diketahui, maka besarnya impedansi dapat ditentukan

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} \quad (2.19)$$

Contoh 1:

Sebuah rangkaian R-L terhubung seri dengan X_L = 6,24kΩ. Beda fasa antara arus dan tegangan sumber adalah sebesar 82 derajad. Tentukan besarnya resistor R.

Penyelesaian:

$$\tan\varphi = \frac{X_L}{R} \qquad \Rightarrow R = \frac{X_L}{\tan\varphi} = \frac{6{,}24\text{k}\,\Omega}{\tan 82^0} = 877\,\Omega$$

Contoh 2:

Sebuah lampu 110V/60W terhubung seri dengan induktor L bekerja pada tegangan jala-jala 220V/50Hz. Tentukan besarnya induktor L.

Penyelesaian:

Menentukan tegangan pada induktor v_L (Volt)

$$v_R = \sqrt{v^2 - v_L{}^2}$$

$$v_R = \sqrt{220^2 - 110^2} = 190\text{V}$$

Menentukan besarnya arus (*i*) rangkaian

$$i = \frac{P}{v} = \frac{6 \,.\, 10^{1}\ \text{W}}{1{,}1 \,.\, 10^{2}\ \text{Volt}} = \frac{6}{1{,}1} 10^{-1}\ \text{A}$$

$$i = 0{,}545\ \text{A}$$

Menentukan besarnya induktansi X_L induktor

$$X_L = \frac{v_L}{i} = \frac{1{,}9 \,.\, 10^{2}\ \text{Volt}}{5{,}45 \,.\, 10^{-1}\ \text{A}} = \frac{1{,}9}{5{,}45} 10^{3}\,\Omega$$

$$X_L = 348\Omega$$

Menentukan besarnya induktor L

$$L = \frac{X_L}{2.\pi \,.\, f} = \frac{348\ \ \Omega}{2.\ \pi \,.\, 50\ \text{Hz}} = 1{,}11\text{H}$$

Contoh 3:

Sebuah motor arus bolak-balik mengambil dari sumber tegangan v = 220V, frekuensi f = 50Hz, arus i = 0,8A pada cos φ = 0,8.

Tentukan besarnya resistor murni R dan reaktansi induktif X_L.

Penyelesaian:

Menentukan besarnya impedansi (*Z*) rangkaian seri

$$Z = \frac{v}{i} = \frac{220V}{8A} = 27{,}5\Omega$$

Menentukan nilai resistansi (*R*)

$$R = Z \cos \varphi$$

$$R = 27{,}5\Omega \,.\, 0{,}8\ = 22\Omega$$

Menentukan nilai reaktansi induktif (X_L)

$$\cos \varphi = 0{,}8$$

$$\sin \varphi = 0{,}6$$

$$\varphi = 37^{0}$$

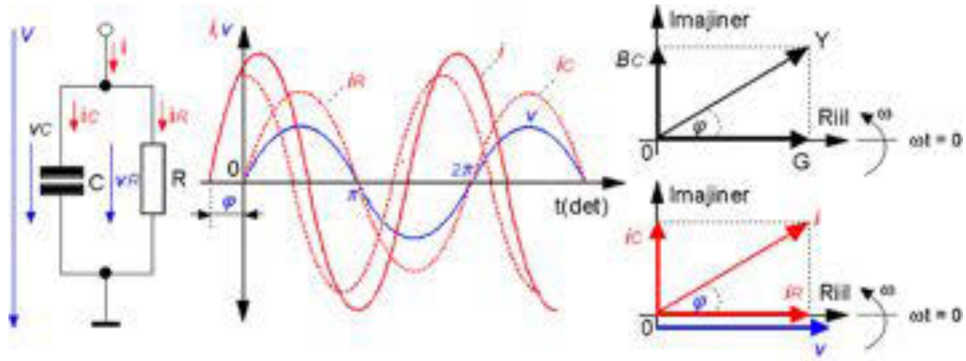
$$X_L = Z \sin \varphi = 27{,}7\,\Omega \,.\, 0{,}6 = 16{,}5\,\Omega$$

Motor induksi bekerja dan mengambil arus sebesar 0,8A sama seperti pada suatu hubungan seri antara resistor murni *R* = 22Ω dan reaktansi induktif X_L = 16,5Ω

2.2.2. Rangkaian R-C dan R-L Paralel

Rangkaian R-C paralel, sifat dari rangkaian paralel adalah terjadi percabangan arus dari sumber (*i*) menjadi dua, yaitu arus yang menuju kapasitor (i_C) dan arus

yang menuju resistor (i_R). Sedangkan tegangan jatuh pada kapasitor (v_C) dan resistor (v_R) sama besar dengan sumber tegangan (v). Gambar 2.8 memperlihatkan hubungan arus secara vektoris pada rangkaian R-C paralel.



Gambar 12.8 Rangkaian R-C Paralel

Hubungan paralel dua resistor yang terdiri dari resistor murni (R) dan reaktansi kapasitif (X_C), dimana pada kedua ujung resistor terdapat tegangan yang sama besar, yaitu $v = v_m \sin \omega t$. Arus efektif yang melalui resistor (R) adalah ($i.R$) = v/R berada sefasa dengan tegangan (v). Arus yang mengalir pada reaktansi kapasitif (i_C) = v/X_C mendahului tegangan sejauh 90^0. Sedangkan arus gabungan (i) diperoleh dari jumlah nilai sesaat arus (i_R) dan (I_C). Arus tersebut mendahului tegangan (v) sebesar sudut (φ)

Dalam diagram fasor, tegangan (v) sebagai besaran bersama untuk kedua resistansi diletakkan pada garis $\omega t = 0$. Fasor arus efektif (i_R) berada sefasa dengan tegangan (v), sedangkan fasor dari arus reaktansi kapasitif (i_C) mendahului sejauh 90^0. Arus gabungan (i) merupakan jumlah geometris dari arus efektif (i_R) dan arus reaktansi kapasitif (i_C), atau diagonal dalam persegi panjang (i_R) dan (i_C). Sudut antara tegangan (v) dan arus (i) adalah sudut beda fasa φ.

Berbeda dengan rangkaian seri, oleh karena arus yang mengalir melalui resistor dan kapasitor terjadi perbedaan fasa, untuk itu hubungan arus (i) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan kuadrat berikut;

$$i^2 = i_R^{\ 2} + i_C^{\ 2} \qquad (2.20)$$

sehingga

$$i = \sqrt{i_R^{\ 2} + i_C^{\ 2}} \qquad (2.21)$$

Oleh karena itu, besarnya arus percabangan yang mengalir menuju resistor dan kapasitor menentukan besarnya impedansi (*Z*) secara keseluruhan dari rangkaian

$$Y = \sqrt{G^2 + B_C{}^2} \qquad (2.22)$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2} \qquad (2.23)$$

atau

$$Z = \frac{R\,.\,X_C}{\sqrt{R^2 + X_C{}^2}} \qquad (2.24)$$

dimana

$$Y = \frac{1}{Z}; \qquad \Rightarrow G = \frac{1}{R}; \qquad \text{dan} \Rightarrow B_C = \frac{1}{X_C}$$

Bila pada hubungan paralel antara nilai resistansi resistor (*R*) dan kapasitansi dari kapasitor (*C*) diketahui, maka arus (*i*), tegangan (*v*), sudut fasa (φ) dan reaktansi kapasitif (X_C). Langkah pertama dengan menetapkan daya hantar semu (*Y*) dari rangkaian paralel.

$$Z = \frac{v}{i} = \frac{1}{Y} \qquad (2.25)$$

Selanjutnya dari persamaan (2.25) diperoleh daya hantar tunggal efektif (G) dari resistor (*R*) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{1}{Y \cos \varphi} \qquad (2.26)$$

Oleh karena resistansi efektif (*R*) dinyatakan seperti persamaan (2.26), maka daya hantar (*G*) dapat dituliskan kedalam persamaan berikut:

$$G = Y \cos\varphi \qquad (2.27)$$

Daya hantar dari reaktansi kapasitif (B_C) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$X_C = \frac{1}{Y \sin \varphi} \qquad (2.28)$$

sehingga daya hantar dari reaktansi kapasitif (B_C) adalah

$$B_C = Y \sin\varphi \qquad (2.29)$$

Besarnya perbedaan sudut (φ) antara reaktansi kapasitif (X_C) terhadap resistansi (R) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan,

$$\tan\varphi = \frac{R}{X_C} \qquad (2.30)$$

atau

$$\tan\varphi = \frac{i_C}{i_R} \qquad (2.31)$$

Contoh 1:

Sebuah rangkaian paralel terdiri dari resistor 500Ω dan kapasitor 5μF. Dihubungkan dengan sumber tegangan berbentuk sinusioda 110V/50Hz. Tentukan besarnya impedansi total Z dan arus total yang mengalir pada rangkaian tersebut.

Penyelesaian:

Menentukan reaktansi kapasitif (Xc) kapasitor

$$X_C = \frac{1}{2\pi . f . C} = \frac{1}{2\pi . 50Hz . 5 . 10^{-6}\ F}$$

$$X_C = \frac{1\,\Omega}{\pi . 5 . 10^2 . 10^{-6}} = \frac{10^4}{15{,}7}\,\Omega$$

$$X_C = 635\,\Omega$$

Menentukan impedansi total rangkaian

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{5 . 10^2\,\Omega}\right)^2 + \left(\frac{1}{6{,}35 . 10^2\,\Omega}\right)^2}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{(4 . 10^{-3})^2 + (1{,}57 . 10^{-3})^2}\ \frac{1}{\Omega}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{4 . 10^{-6} + 2{,}46\ 10^{-6}}\ \frac{1}{\Omega}$$

$$Z = \frac{1\,\Omega}{2{,}54 . 10^{-3}} = \frac{10^3}{2{,}54}\,\Omega$$

sehingga nilai impedansi rangkaian adalah

$$Z = 393\ \Omega$$

Menentukan besarnya arus rangkaian

$$i = \frac{v}{Z} = \frac{1{,}1.10^{2}\ \text{Volt}}{3{,}93\ \Omega} = 280\ \text{mA}$$

Contoh 2:

Sebuah rangkaian R-C paralel arus yang mengalir melalui kapasitor 2,5mA dan arus yang mengalir melalui resistor 1,5mA. Tentukan besarnya sudut fasa φ antara arus total dan tegangan.

Penyelesaian:

Besarnya sudut fasa antara arus total dan tegangan

$$\tan\varphi = \frac{i_C}{i_R} = \frac{2{,}5\text{mA}}{1{,}5\text{mA}}$$

$$\tan\varphi = 1{,}667$$

$$\varphi = 59^{0}$$

Contoh 3:

Sebuah resistor 5,6kΩ terhubung secara paralel dengan kapasitor 4,7nF. Dihubungkan ke sumber tegangan sebesar 10V dengan frekuensi 10kHz. Tentukan nilai-nilai dari (i), (i_R) dan (i_C).

Penyelesaian:

Menentukan besarnya kapasitansi Xc

$$X_C = \frac{1}{2\pi\,.\,f\,.\,C} = \frac{1}{2\pi\,.\,10\text{kHz}\,.\,4{,}7\,.\,10^{-9}\ \text{F}}$$

$$X_C = 3{,}39\text{k}\,\Omega$$

Menentukan arus kapasitor (i_C)

$$i_C = \frac{v}{Xc} = \frac{10\ \text{Volt}}{3{,}39\,k\Omega} \qquad \Rightarrow i_C = 2{,}95\text{mA}$$

Menentukan arus resistor (i_R)



$$i_R = \frac{v}{R} = \frac{10\text{ Volt}}{5{,}6k\Omega} \qquad \Rightarrow i_R = 1{,}79\text{mA}$$

Menentukan arus total (i)

$$i = \sqrt{i_R{}^2 + i_C{}^2}$$

$$i = \sqrt{1{,}79^2 + 2{,}95^2}$$

$$i = 3{,}45\text{mA}$$

Contoh 4:

Berapa besarnya daya hantar semu hubungan paralel antara resistor efektif (R) = 2Ω dan kapasitor (C) = 10μF pada frekuensi (f) = 10kHz. Dan berapa resistansi semu (impedansi Z) rangkaian paralel.

Penyelesaian:

Menentukan daya hantar semu efektif (G)

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{2\Omega} = 0{,}5\text{ s}$$

Menentukan daya hantar semu (Y)

$$B_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi\, 10 \,.\, 10^3\text{ Hz}\; 10 \,.\, 10^{-6}\text{ F}}$$

$$B_C = 0{,}628\ s$$

Menentukan daya hantar dari reaktif kapasitif (B_C)

$$Y = \sqrt{G^2 + Y^2}$$

$$Y = \sqrt{(0{,}5\text{ s})^2 + (0{,}628\text{ s})^2}$$

$$Y = 0{,}835\ s$$

Menentukan resistansi semu-impedansi (Z)

$$Z = \frac{1}{Y}$$

$$= \frac{1}{0{,}835\ s}$$

$$Z = 1{,}2\,\Omega$$

Contoh 5:

Hubungan paralel antara resistor (R) dan reaktansi kapasitif (X_C) mengambil arus (i) = 3A mendahului tegangan tegangan (v) sebesar (φ) = 45^0. Uraikanlah secara grafis dalam diagram fasor menjadi arus efektif (i_R) dan arus kapsitif (i_C). Spesifikasi skala adalah 1cm $\cong$ 1Ampere .

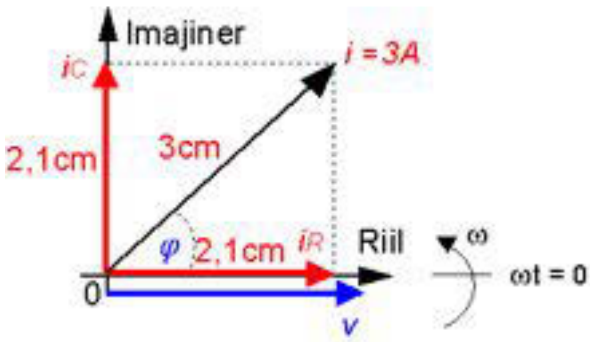
Penyelesaian:

Tegangan (v) terletak pada ωt = 0. Fasor arus (i) mendahului sebesar (φ) = 45^0, dimana panjangnya sama dengan 3cm. Proyeksi fasor arus pada garis (φ) = 90^0 menghasilkan fasor arus reaktif (i_C), dimana kedua fasor sama panjang, yaitu 2,1cm sebanding dengan 2,1A.

efektif (i_R).

ketentuan skala: $i_R = i_C = 2{,}1cm\ \frac{1A}{cm} = 2{,}1\text{A}$

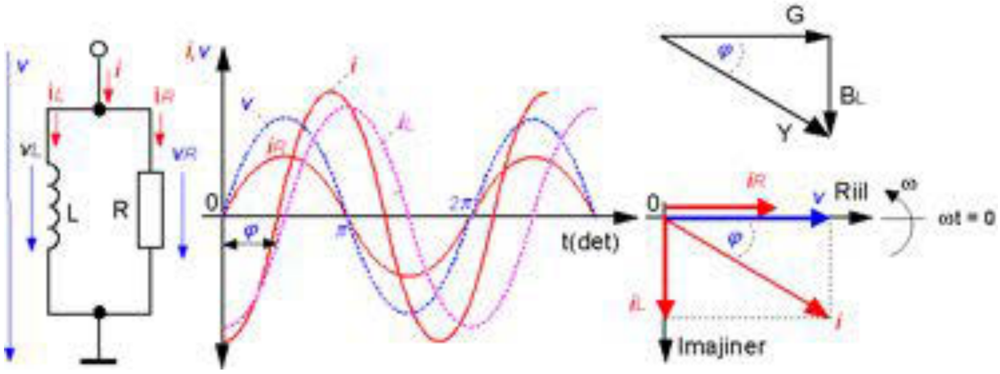
Gambar 2.9 skala diagram fasor antara arus reaktif (i_C) terhadap arus efektif (i_R) dengan sudut perbedaan fasa (φ).



Gambar 12.9 Diagram fasor arus tegangan

Rangkaian R-L paralel, sifat dari rangkaian paralel adalah terjadi percabangan arus dari sumber (i) menjadi dua, yaitu arus yang menuju induktor (i_L) dan arus yang menuju resistor (i_R). Sedangkan tegangan jatuh pada induktor (v_L) dan

resistor (v_R) sama besar dengan sumber tegangan (v). Gambar 2.10 memperlihatkan hubungan arus secara vektoris pada rangkaian R-L paralel.



Gambar 12.10 Rangkaian R-L Paralel

Hubungan paralel (sejajar) antara resistor (*R*) dan induktor (*L*) dalam rangkaian arus bolak-balik. Pada kenyataannya hubungan demikian dapat pula merupakan hubungan yang mewakili suatu peralatan elektronik, misalnya sebuah oven dengan tusuk daging yang berputar (motor dengan resistor pemanas yang dihubungkan paralel).

Diagram bentuk gelombang Gambar 2.9 memperlihatkan aliran arus dan tegangan. Kedua ujung terminal dari resistor (R) dan induktor (L) terdapat tegangan (v) = $v_m \sin \omega t$.

Berbeda dengan rangkaian seri, oleh karena arus yang mengalir melalui resistor dan induktor terjadi perbedaan fasa, untuk itu hubungan arus (*i*) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan kuadrat berikut;

$$i^2 = i_R^{\ 2} + i_L^{\ 2} \qquad (2.32)$$

sehingga

$$i = \sqrt{i_R^{\ 2} + i_L^{\ 2}} \qquad (2.33)$$

Untuk membuat perhitungan secara efisien mengenai hubungan paralel antara resistor (*R*) dan induktor (*L*), dapat digunakan daya hantar semu (*Y*) seperti persamaan berikut:

$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^{\ 2}} \qquad (2.34)$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} \tag{2.35}$$

dengan demikian impedansi (*Z*) hubungan paralel adalah

$$Z = \frac{R \, . \, X_L}{\sqrt{R^2 + X_L{}^2}} \tag{2.36}$$

dimana

$$Y = \frac{1}{Z}; \qquad \Rightarrow G = \frac{1}{R}; \qquad \text{dan} \Rightarrow B_L = \frac{1}{X_L}$$

Sehinggga besarnya perbedaan sudut fasa (φ) antara resistor (*R*) terhadap impedansi (*Z*) adalah

$$Z = \frac{v}{i} = \frac{1}{Y} \tag{2.37}$$

$$R = \frac{1}{Y \cos \varphi} \tag{2.38}$$

Dengan menggunakan segitiga pythagoras, maka besarnya daya hantar efektif (*G*) dapat dihitung seperti berikut:

$$G = Y \cos \varphi \tag{2.39}$$

atau reaktansi induktif (X_L) terhadap sudut fasa (φ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini,

$$X_L = \frac{1}{Y \sin \varphi} \tag{2.40}$$

atau daya hantar reaktif dari induktor (*L*)

$$B_L = Y \sin \varphi \tag{2.41}$$

Besarnya sudut fasa (φ) dapat dihitung dengan segitiga tangensial

$$\tan \varphi = \frac{R}{X_L} \tag{2.42}$$

atau

$$\tan\varphi = \frac{i_L}{i_R} \qquad (2.43)$$

Contoh 1:

Sebuah pesawat listrik mempunyai tegangan (v) sebesar 380V mengambil arus (i) = 7,6A tertinggal terhadap tegangan sejauh (φ) = 30^0. Hitunglah daya hantar semu (Y), daya hantar efektif (G) dan daya hantar reaktif (B_L).

Penyelesaian:

Menentukan daya hantar semu (Y)

$$Y = \frac{i}{v} = \frac{7{,}6\text{A}}{380\text{V}} = 0{,}02\ \text{s}$$

Menentukan daya hantar efektif (G)

$$G = Y\cos\varphi = 0{,}02\ \text{s}\cos 30^0$$

$$G = 0{,}02\ \text{s}\,.0{,}866$$

$$G = 0{,}01732\ \text{s}$$

sehingga didapatkan nilai resistor (R)

$$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0{,}01732\ \text{s}} = 57{,}7\ \Omega$$

Menentukan daya hantar reaktif (B_L)

$$B_L = Y\sin\varphi = 0{,}02\ \text{s}\sin 30^0$$

$$B_L = 0{,}02\ \text{s}\,.\,0{,}5$$

$$B_L = 0{,}01\ \text{s}$$

sehingga didapatkan nilai reaktansi induktif (X_L)

$$X_L = \frac{1}{B_L} = \frac{1}{0{,}01\ \text{s}} = 100\ \Omega$$

Secara kelistrikan pesawat listrik ini berfungsi seperti hubungan paralel suatu resistor murni (R) = 57,7Ω dengan sebuah kumparan dengan reaktansi induktif (X_L) sebesar 100Ω.

Contoh 2:

Hubungan paralel antara resistor (R) dan reaktansi induktif (X_L), arus efektif yang mengalir pada resistor (i_R) sebesar 4A dan arus reaktif yang menuju induktor (i_L) sebesar 3A. Gambarkan diagram fasor dengan skala 1cm ≅ 1A. Hitunglah arus diagonal (i) dan perbedaan sudut fasa (φ).

Penyelesaian:

Pada skala 1cm sebanding dengan 1A sesuai dengan ketentuan spesifikasi fasor seperti berikut:

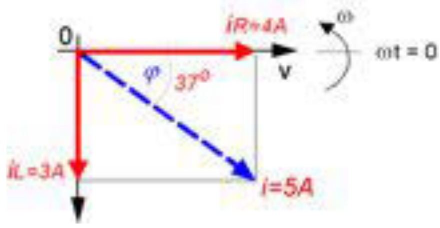
Untuk arus efektif (i_R) = 4A sebanding dengan skala panjang 4cm

Untuk reaktif (i_L) = 3A sebanding dengan skala panjang 3cm

Arus efektif (i_R) terletak pada $\omega t = 0$, dengan arus reaktif (i_L) tertinggal sejauh 90^0. terhadap tegangan (v). Arus gabungan (i) adalah diagonal dari persegi panjang antara arus efektif (i_R) dan arus reaktif (i_L), diukur panjangnya adalah 5cm, sehingga:

$$i = 5cm\,1\frac{A}{cm} = 5\text{A}$$

Sudut antara tegangan (v) dan arus diagonal (i) ketika diukur dengan pengukur sudut (busur derajad) adalah (φ) = 37^0 (Gambar 2.11).



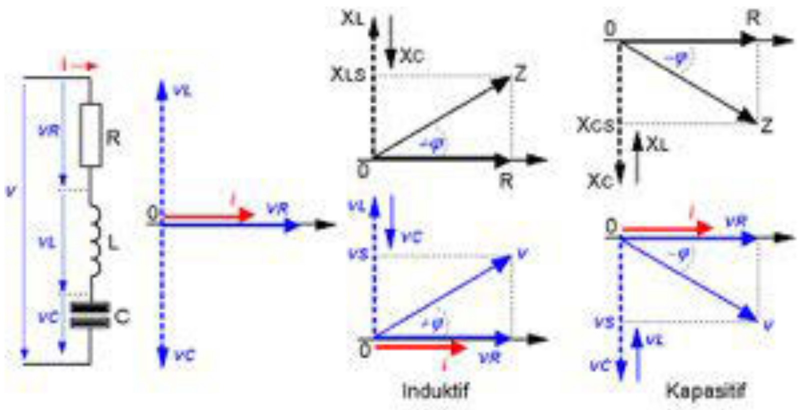
Gambar 2.11 Arus efektif (i_R) terhadap arus reaktif (i_L)

Rangkaian R-L-C seri, sifat rangkaian seri dari sebuah resistor dan sebuah induktor yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik sinusioda adalah terjadinya pembagian tegangan di (v_R), (v_L) dan (v_C) secara vektoris. Arus (i) yang mengalir pada hubungan seri adalah sama besar. Arus (i)

tertinggal 90 derajad terhadap tegangan induktor (v_L). Tidak terjadi perbedaan fasa antara tegangan jatuh pada resistor (v_R) dan arus (i). Gambar 2.12 memperlihatkan rangkaian seri R-L-C dan hubungan arus (i), tegangan resistor (v_R), tegangan kapasitor (v_C) dan tegangan induktor (v_L) secara vektoris.

Suatu alat listrik arus bolak-balik dapat juga memiliki berbagai macam reaktansi, seperti misalnya hubungan seri yang terdiri dari resistor (R), reaktansi induktif (X_L) dan raktansi kapasitif (X_C). Dengan demikian besarnya tegangan total (v) sama dengan jumlah dari tegangan pada resistor (v_R), kapasitor (v_C) dan tegangan pada induktor (v_L). Dengan banyaknya tegangan dengan bentuk gelombang yang serupa, sehingga terjadi hubungan yang tidak jelas. Oleh karena itu hubungan tegangan lebih baik dijelaskan dengan menggunakan diagram fasor.

Melalui ketiga resistansi (R), (X_L) dan (X_C) mengalir arus (i) yang sama. Oleh sebab itu fasor arus diletakkan pada $\omega t = 0$. Tegangan (v) pada resistor (R) berada satu fasa dengan arus (i). Tegangan (v_L) pada reaktansi induktif (X_L) mendahului sejauh 90^0 terhadap arus (i), sedangkan tegangan (v_C) pada reaktansi kapasitif (X_C) tertinggal sejauh 90^0 terhadap arus (i). Kedua tegangan reaktif mempunyai arah saling berlawanan, dimana selisihnya ditunjukkan sebagai tegangan (v_S). Tegangan total (v) merupakan fasor jumlah dari tegangan (v_L) dan tegangan (v_C) sebagai hasil diagonal persegi panjang antara tegangan (v_L) dan tegangan (v_C).



Gambar 2.12 Rangkaian R-L-C Seri

Bila tegangan jatuh pada reaktif induktif (v_L) lebih besar dari tegangan jatuh pada reaktif kapasitif (v_C), maka tegangan total (v) mendahului arus (i), maka rangkaian seri ini cenderung bersifat induktif. Sebaliknya bila tegangan jatuh

pada reaktif induktif (v_L) lebih kecil dari tegangan jatuh pada reaktif kapasitif (v_C), maka tegangan total (v) tertinggal terhadap arus (i), maka rangkaian seri ini cenderung bersifat kapasitif.

Untuk menghitung hubungan seri antara R, X_L dan X_C pada setiap diagram fasor kita ambil segitiga tegangan. Dari sini dapat dibangun segitiga resistor, yang terdiri dari resistor (R), reaktif (X) dan impedansi (Z).

Berdasarkan tegangan reaktif (v_S) yang merupakan selisih dari tegangan reaktif induktif (v_L) dan tegangan reaktif kapasitif (v_C), maka resistor reaktif ($X= X_{LS}=X_{CS}$) merupakan selisih dari reaktansi (X_L) dan (X_C). Sehingga didapatkan hubungan tegangan (v) seperti persamaan vektoris berikut;

$$v = \sqrt{{v_R}^2 + \left(\left|v_L - v_C\right|\right)^2} \qquad (2.44)$$

Maka untuk resistansi semu (impedansi Z) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\left|X_L - X_C\right|\right)^2} \qquad (2.45)$$

dimana

$$Z = \frac{1}{Y} \qquad (2.46)$$

Contoh 1:

Sebuah rangkaian R-L-C seri dengan spesifikasi data R=800Ω, L=5,5H dan C=1,2μF dihubungkan dengan tegangan 380Volt/100Hz. Tentukan tegangan total (v), tegangan induktor (v_L), tegangan kapasitor (v_C) dan tegangan resistor (v_R).

Penyelesaian:

Menentukan besarnya induktansi (X_L) induktor

$$X_L = 2\,\pi . f . L = 2\pi . 1 . 10^2\,Hz . 5{,}5\,H$$

$$X_L = 3{,}45k\,\Omega$$

Menentukan besarnya kapasitansi (Xc) kapasitor



$$X_C = \frac{1}{2\pi . f . C} = \frac{1}{2\pi . 10^2 Hz . 1,2 . 10^{-6} F}$$

$$X_C = 0,131 . 10^4 \ \Omega$$

$$X_C = 1,31 \ k\Omega$$

Menentukan besarnya arus total (*i*)

$$i = \frac{v_L}{X_L} = \frac{3,8 . 10^2 \ Volt}{3,45 . 10^3 \Omega} = 1,1 . 10^{-1} \ A$$

$$i = 110 \ mA$$

Menentukan besarnya tegangan (v_C) kapasitor

$$v_C = X_C . i = 1,31 . 10^3 \ \Omega . 1,1 . 10^{-1} \ Volt$$

$$v_C = 144 \ Volt$$

Menentukan besarnya tegangan (v_R) resistor

$$v_R = R . i = 8 . 10^2 \ \Omega . 1,1 . 10^{-1} \ Volt$$

$$v_R = 88 \ Volt$$

Menentukan besarnya tegangan total (*v*) rangkaian

$$v = \sqrt{v_R^{\ 2} + \left(|v_L - v_C| \right)^2}$$

$$v = \sqrt{(88V)^2 + (380V - 144V)^2}$$

$$v = \sqrt{(88V)^2 + (236)^2 \ V}$$

$$v = \sqrt{\left(8,8 . 10^{-1} V\right)^2 + \left(2,36 . 10^2 \ V\right)^2}$$

$$v = \sqrt{77,5 . 10^2 \ V^2 + 5,6 . 10^4 \ V^2}$$

$$v = \sqrt{6,375 . 10^4 \ V^2} = 2,52 . 10^2 \ Volt$$

$$v = 252 \ Volt$$

Contoh 2:

Tiga buah resistor R = 150Ω, X_L = 258Ω dan X_C = 160,5Ω, dihubungkan secara seri. Tentukan besarnya sudut φ antara arus dan tegangan. Jelaskan posisi fasa antara arus dan tegangan, mendahului atau ketinggalan.

Penyelesaian:

Menentukan besarnya sudut (φ)

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\tan \varphi = \frac{258\Omega - 160{,}5\Omega}{150\Omega} = 0{,}65$$

$$\varphi = 33^0$$

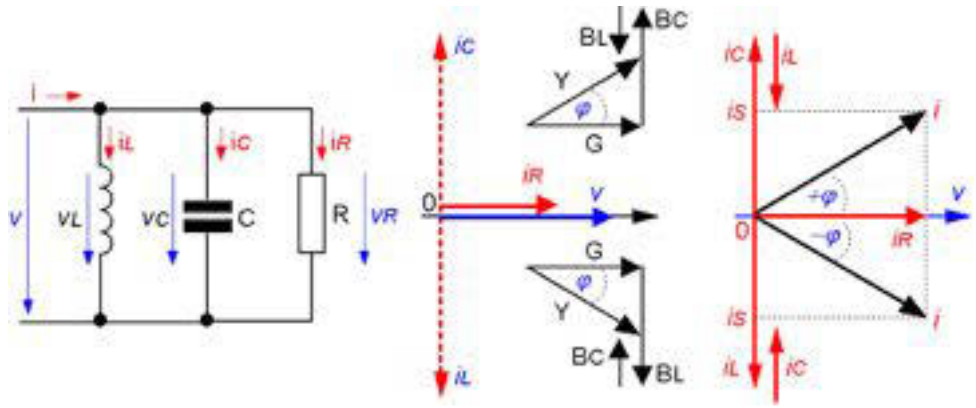
Karena (X_L) lebih besar daripada (X_C), maka arus (*i*) tertinggal terhadap tegangan sebesar (φ) sebesar 33^0.

Rangkaian R-L-C paralel, sifat dari rangkaian paralel adalah terjadi percabangan arus dari sumber (*i*) menjadi tiga, yaitu arus yang menuju arus yang menuju resistor (i_R), induktor (i_L) dan kapasitor (i_C). Sedangkan tegangan jatuh pada resistor (v_R), pada induktor (v_L) dan pada kapasitor (v_C) sama besar dengan sumber tegangan (*v*). Gambar 2.13 memperlihatkan hubungan arus secara vektoris pada rangkaian R-L-C paralel.

Suatu rangkaian arus bolak-balik yang terdiri dari resistor (*R*), reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C), dimana ketiganya dihubungkan secara paralel. Fasor tegangan (*v*) sebagai sumber tegangan total diletakan pada $\omega t = 0$. Arus efektif (i_R) berada sefasa dengan tegangan (*v*). Arus yang melalui reaktansi induktif (i_L) tertinggal sejauh 90^0 terhadap tegangan (*v*) dan arus yang melalui reaktansi kapasitif (i_C) mendahului sejauh 90^0 terhadap tegangan (*v*). Arus reaktif induktif (i_L) dan arus reaktif kapasitif (i_C) bekerja dengan arah berlawanan, dimana selisih dari kedua arus reaktif tersebut menentukan sifat induktif atau kapasitif suatu rangkaian. Arus gabungan (*i*) adalah jumlah geometris antara arus efektif (i_R) dan selisih arus reaktif (i_S) yang membentuk garis diagonal empat persegi panjang yang dibentuk antara arus efektif (i_R) dan selisih arus reaktif (i_S). Posisi arus (*i*) terhadap tegangan (*v*) ditentukan oleh selisih kedua arus reaktif (i_S).

Bila arus yang melalui reaktansi induktif (i_L) lebih besar daripada arus yang melalui reaktansi kapasitif (i_C), maka arus total (i) tertinggal sejauh 90^0 terhadap tegangan (v), maka rangkaian paralel ini cenderung bersifat induktif. Sebaliknya bilamana arus yang melalui reaktansi induktif (i_L) lebih kecil daripada arus yang melalui reaktansi kapasitif (i_C), maka arus total (i) mendahului sejauh 90^0 terhadap tegangan (v), maka rangkaian paralel ini cenderung bersifat kapasitif

Untuk menghitung hubungan seri antara R, X_L dan X_C pada setiap diagram fasor kita ambil segitiga yang dibangun oleh arus total (i), arus.selisih (i_S) dan arus efektif (i_R). Dari sini dapat dibangun segitiga daya hantar, yang terdiri dari daya hantar resistor (G), daya hantar reaktif (B) dan daya hantar impedansi (Y).



Gambar 12.13 Rangkaian R-L-C Paralel

Sehingga hubungan arus (i) terhadap arus cabang (i_R), (i_L) dan (i_C) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan kuadrat berikut;

$$i^2 = i_R^{\ 2} + i_C^{\ 2} - i_L^{\ 2} \qquad (2.47)$$

sehingga

$$i = \sqrt{i_R^{\ 2} + \left(\left|i_C - i_L\right|\right)^2} \qquad (2.48)$$

Oleh karena arus reaktif (i_S) adalah selisih dari arus reaktif (i_L) dan arus reaktif (i_C), maka daya hantar reaktif (B) adalah selisih dari daya hantar reaktif (B_L) daya hantar reaktif (B_C).

$$Y = \sqrt{G^2 + \left(\left|B_C - B_L\right|\right)^2} \qquad (2.49)$$

dimana $B = B_C - B_L$

Dan impedansi (Z)

$$Z = \frac{1}{Y} \qquad (2.50)$$

Dengan arus total (i) $= v \, . \, Y$

Untuk arus pada hubungan paralel berlaku persamaan

Arus efektif $i_R = v \, . \, G$ (2.51)

Arus reaktif induktif $i_L = v \, . \, B_L$ (2.52)

Arus reaktif kapasitif $i_C = v \, . \, B_C$ (2.53)

Sudut fasa (φ) dapat dihitung dari persamaan

$$tan\ \varphi = \frac{i_S}{i_R} \quad \text{dan} \quad tan\ \varphi = \frac{B}{G} \qquad (2.54)$$

Pertanyaan:

Pada hubungan paralel antara (R), (X_L) dan (X_C) dalam rangkaian arus bolak-balik, pada saat kapan arus total (i) dapat mendahului atau tertinggal terhadap tegangan (v). Besaran-besaran manakah yang menentukan posisi fasa arus ini terhadap tegangan?

Jawab:

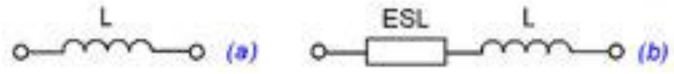
Pada hubungan paralel antara (R), (X_L) dan (X_C) dalam rangkaian arus bolak-balik, posisi fasa arus terhadap tegangan mendahului atau ketinggalan ditentukan oleh besarnya kedua arus reaktif (i_L) dan (i_C).

Bilamana arus $i_L > i_C$, maka arus (i) tertinggal terhadap tegangan (v). Dan Bilamana arus $i_L < i_C$, maka arus (i) mendahului terhadap tegangan (v)

2.2.3. Rangkaian Pengganti Induktor

Induktor dikatakan ideal apabila mempunyai nilai ESL=0, dimana nilai ESL (*Equivalent Serie Inductor*) sangat tergantung dari konstruksi dan bahan yang digunakan pada induktor. Besarnya ESL akan mempengaruhi arus yang

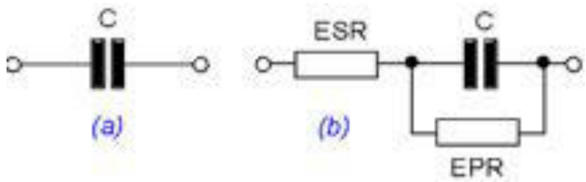
mengalir pada induktor dan rugi daya rangkaian. Kerugian arus-tegangan akan sangat berpengaruh ketika induktor digunakan pada aplikasi rangkaian untuk arus besar. Kerugian ESL diwujudkan berupa panas yang berlebihan pada induktor. Gambar 2.14 memperlihatkan komponen induktor ideal (a) dan pengganti induktor(b).



Gambar 12.14 Komponen induktor ideal dan pengganti induktor

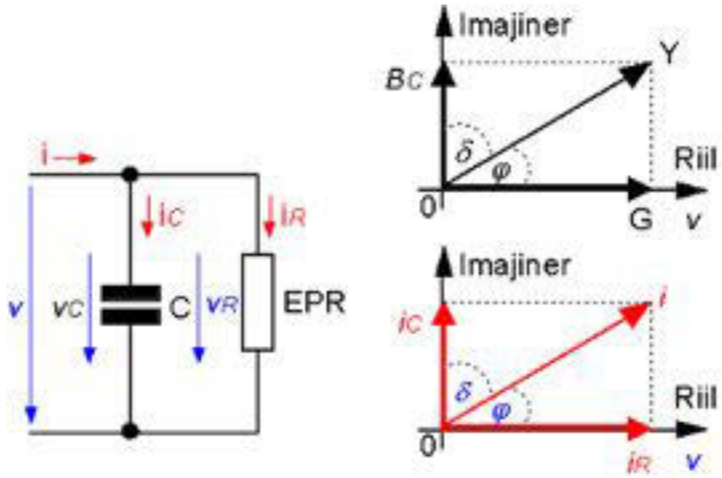
2.2.3. Rugi Akibat ESR Kapasitor

ESR adalah *Equivalent Serie Resistor*. Kapasitor dikatakan ideal apabila mempunyai nilai ESR=0 dan EPR (*Equivalent Parallel Resistor*) tak hingga, dimana nilai ESR sangat tergantung dari konstruksi dan bahan yang digunakan pada kapasitor. Besarnya ESR dan EPR akan mempengaruhi arus yang mengalir pada kapasitor dan rugi daya rangkaian. Kerugian arus-tegangan akan sangat berpengaruh ketika kapasitor digunakan pada aplikasi rangkaian untuk arus besar. Kerugian ESR diwujudkan berupa panas (rugi daya) yang berlebihan pada kapasitor. Kerugian EPR diwujudkan berupa kesalahan rugi sudut (*d*). Gambar 2.15 memperlihatkan komponen kapasitor ideal (a) dan pengganti kapasitor (b).



Gambar 2.15 Komponen kapasitor ideal dan pengganti kapasitor

Yang perlu diperhatikan adalah dimana letak perbedaan kerugian ESL (*Equivalent Serie Induktor*) dan ESR (*Equivalent Serie Resistor*) mempengaruhi suatu rangkaian. Perlu dibedakan adalah, bahwa rugi induktor banyak terjadi pada rangkaian seri. Sedangkan untuk rugi kapasitor banyak terjadi pada rangkaian paralel (beban paralel). Contoh yang sering terjadi dengan masalah kerugian ini adalah pada jaringan filter dan rangkaian resonator. Gambar 2.16 memperlihatkan rugi ESR pada rangkaian paralel.



Gambar 12.16 EPR kapasitor menentukan sudut φ dan sudut δ

Rugi kapasitor akibat EPR diwujudkan berupa pergeseran fasa antara arus dan tegangan lebih kecil dari 90^0. Semakin kecil pergeseran fasa antara arus dan tegangan atau semakin mendekati 90^0, maka semakin kecil pula kerugian akibat EPR kapasitor. Faktor kerugian didefinisikan sebagai kerugian sudut tangensial δ, dimana sudut δ tergantung dari pergeseran sudut φ terhadap sudut arus tegangan sebesar 90^0. Berdasarkan vektor arus Gambar 2.16 didapatkan faktor rugi (*d*) seperti persamaan berikut;

$$d = \frac{i_R}{i_C} \qquad (2.55)$$

atau

$$d = \frac{X_C}{R_p} = \frac{1}{\omega . C . R_P} \qquad (2.56)$$

Rugi sudut tangensial δ

$$\tan \delta = \frac{X_C}{R_P} \qquad (2.57)$$

dan

$$d = \tan \delta \qquad (2.58)$$

Hubungan faktor rugi (*d*) dan faktor kualiatas (Q)

$$Q = \frac{1}{d} \qquad (2.59)$$

Contoh:

Berapa besarnya rugi resistor terhadap rugi sudut dari sebuah kapasitor sebesar 10μF bila diketahui faktor rugi sebesar $1{,}5 \cdot 10^{-4}$. Besarnya frekuensi aadalah 50Hz.

Penyelesaian:

Menentukan resistansi paralel (EPR)

$$d = \frac{X_C}{R_p} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_P}$$

$$R_P = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot d} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot d}$$

$$R_P = \frac{1}{2\pi \cdot 50\ 1/s \cdot 10^{-5}\ As/V \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-4}} \qquad \Rightarrow R_P = 2{,}12\ M\Omega$$

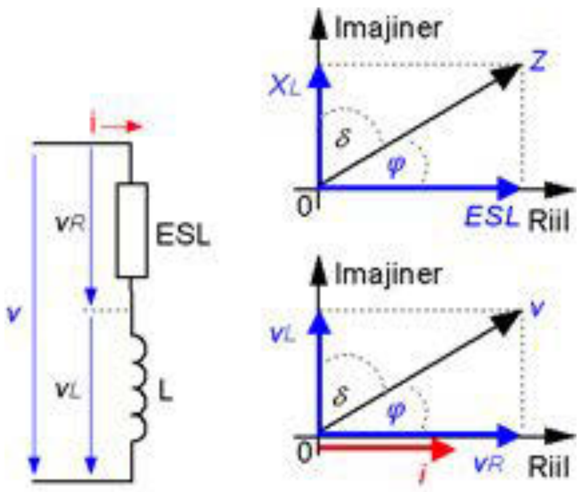
Menentukan rugi sudut δ

$$\tan\delta = d \qquad \Rightarrow \tan\delta = 1{,}5 \,.\, 10^{-4} \Rightarrow \qquad \delta = 0{,}0086^0$$

$$\varphi = 90^0 - 0{,}0086^0 = 89{,}9914^0$$

2.2.4. Rugi Akibat ESL Induktor

Rugi ESL (*Equivalent Serie Inductor*), diatas telah dijelaskan bahwa rugi pada induktor terjadi pada rangkaian seri. Kerugian pada induktor akan cenderung kecil apabila komponen ESL jauh lebih kecil daripada nilai induktansi (X_L).



Gambar 12.17 ESL kapasitor menentukan sudut φ dan sudut δ

Contoh yang sering terjadi dengan masalah kerugian ini adalah pada jaringan filter dan rangkaian resonator. Kerugian mengakibatkan faktor kualitas (Q) menjadi menurun. Semakin besar faktor kualitas (Q) semakin kecil faktor rugi (d) dan semakin kecil rugi sudut (δ). Dengan demikian rugi pergeseran fasa (φ) antara arus (i) dan tegangan resistor (v_R) terhadap tegangan induktor (v_L) mendekati sama dengan 90^0. Gambar 2.17 memperlihatkan rugi ESL pada rangkaian paralel.

Rugi faktor (d) akibat komponen seri induktor

$$d = \tan \delta \tag{2.60}$$

atau

$$d = \frac{ESL}{X_L} \tag{2.61}$$

Faktor kualitas (Q) akibat komponen seri induktor

$$Q = \frac{1}{d} \tag{2.62}$$

atau

$$Q = \frac{X_L}{ESL} \tag{2.63}$$

Contoh:

Sebuah komponen induktor mempunyai nilai induktansi X_L=2kΩ dan faktor kualitas Q = 250. Tentukan spesifikasi nilai ESL dari induktor.

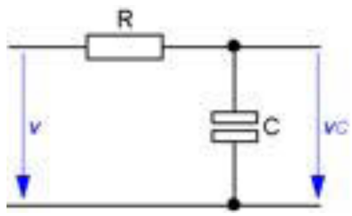
Penyelesaian:

$$Q = \frac{X_L}{ESL} \; ; \qquad \Rightarrow \text{Resistansi Seri } ESL = \frac{X_L}{Q} = \frac{2000\,\Omega}{250} = 8\Omega$$

2.2.5. Rangkaian Integrator dan Diferensiator

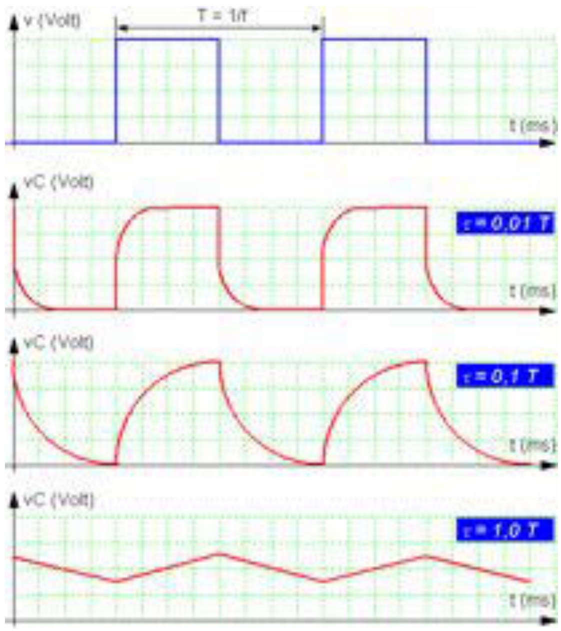
Rangkaian Integrator, dapat dibangun dengan menggunakan dua buah komponen pasif, yaitu resistor dan kapasitor yang dihubungkan secara seri. Fungsi dari rangkaian integrator adalah sebagai pengubah tegangan kotak menjadi tegangan segitiga, atau dapat juga digunakan sebagai rangkaian filter

lulus bawah-*LPF-low pass filter*. Gambar 2.18 memperlihatkan jaringan R-C yang membentuk sebuah rangkaian integrator.



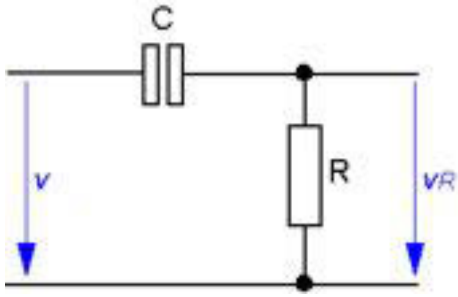
Gambar 2.18 Rangkaian integrator

Bila digunakan sebagai pengubah gelombang kotak menjadi segitiga, dimensi konstanta waktu τ = 10 x T (periode), dan apabila rangkaian integrator dioperasikan sebagai filter lulus bawah, maka pemilihan konstanta waktu τ = 0,01 x T. Gambar 2.19 memperlihatkan tegangan keluaran rangkaian integrator untuk berbagai macam konstanta waktu (τ) yang berbeda.



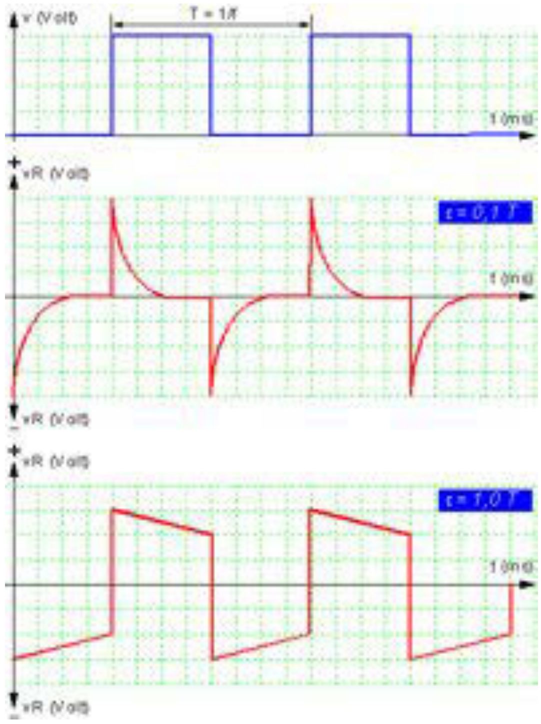
Gambar 12.19 Tegangan keluaran rangkaian integrator

Rangkaian Diferensiator, dapat dibangun dengan menukar posisi kapasitor dan resistor. Fungsi dari rangkaian diferensiator adalah untuk mengubah tegangan segitiga menjadi tegangan persegi (kotak), atau dapat juga digunakan sebagai rangkaian filter lulus atas-*HPF-high pass filter*. Gambar 2.20 memperlihatkan jaringan R-C yang membentuk sebuah rangkaian diferensiator.



Gambar 12.20 Rangkaian diferensiator

Bila digunakan sebagai rangkaian diferensiator, dimensi konstanta waktu τ = 0,01 x T (periode), dan apabila rangkaian digunakan sebagai filter lulus atas, maka pemilihan konstanta waktu τ = 10 x T. Gambar 2.21 memperlihatkan tegangan keluaran rangkaian diferensiator untuk berbagai macam konstanta waktu (τ) yang berbeda.

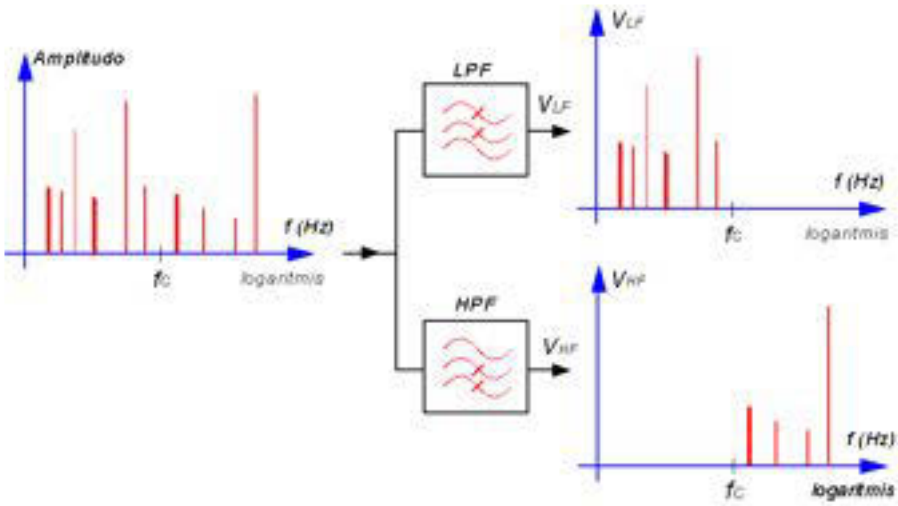


Gambar 12.21 Tegangan keluaran rangkaian diferensiator

12.2.6. Penyaring (*Filter*)

Sebuah penyaring adalah suatu rangkaian yang membentuk kesatuan jaringan yang fungsi dan tujuannya tidak lain adalah untuk melewatkan isyarat-isyarat elektris pada daerah lebar pita frekuensi tertentu dan meredam semua frekuensi yang berada diluar daerah lebar pita yang tidak diinginkan. Rangkaian

penyaring banyak digunakan di dalam suatu aplikasi yang sangat luas. Misalnya, di bidang telekomunikasi, Penyaring laluan tengah (*band pass filter*) digunakan untuk melewatkan daerah frekuensi audio mulai dari 0 kHz sampai dengan 20 kHz, yaitu untuk memproses daerah frekuensi suara dan modem. Sedangkan untuk penyaring laluan tengah yang bekerja pada daerah frekuensi tinggi (ratusan MHz) banyak digunakan untuk pemilih saluran komunikasi telepon. Pada tingkat pengolahan sinyal, untuk sistem akuisisi data biasanya memerlukan rangkaian penyaring *anti aliasing* sebagai pelalu frekuensi rendah. Hal ini bertujuan agar supaya sinyal dapat terkondisikan sedemikian rupa sehingga dapat terbebas dari gangguan antar kanal atau gangguan yang mungkin berasal dari frekuensi tinggi (*noise*). Pada bagian sistem sumber daya (*power supply*) banyak digunakan (*band stop filter*), dimana fungsinya adalah untuk meredam gangguan dengung yang berasal dari frekuensi jala-jala 60Hz dan gangguan-gangguan akibat kejutan/ayunan frekuensi tinggi. Gambar 2.22 memperlihatkan spektrum penyaring lulus bawah (*low pass filter-LPF*) dan penyaring lulus atas (*high pass filter-HPF*).



Gambar 12.22 Spektrum LPF dan HPF

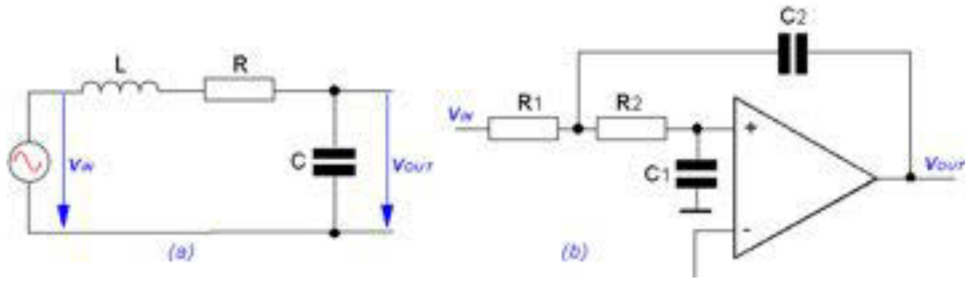
Penting untuk dibedakan, bahwa ada beberapa penyaring yang fungsinya tidak dapat disamakan dengan beberapa contoh dan definisi diatas, apabila masukannya merupakan isyarat-sinyal komplek, tetapi dengan cara menambahkan suatu pergeseran fasa linier pada masing-masing komponen frekuensi dengan konstanta waktu tunda tertentu. Rangkaian penyaring ini dinamakan *all pass filter*.

Pada penerapan frekuensi tinggi diatas 1 MHz, pada umumnya penyaring yang digunakan terdiri dari beberapa komponen pasif seperti induktor, resistor, dan kapasitor. Dan penyaring jenis ini lebih dikenal dengan sebutan penyaring pasif atau penyaring R-L-C.

Sedangkan untuk aplikasi pada daerah cakupan dengan frekuensi yang lebih rendah yaitu antara 1 Hz sampai dengan 1 MHz, penggunaan komponen induktor menjadi tidak efektif lagi, karena untuk dapat mencapai daerah kerja pada frekuensi rendah dibutuhkan sebuah induktor dengan ukuran yang sangat besar dan menyebabkan biaya produksi menjadi tidak hemat lagi.

Untuk menyelesaikan didalam kasus seperti ini, maka jenis penyaring aktif menjadi sangat penting. Sebuah jaringan penyaring aktif dapat dibangun dengan menggunakan suatu penguat operasional yang dikombinasikan dengan beberapa jaringan komponen-komponen pasif (*R*) dan (*C*) sedemikian rupa sehingga keduanya membentuk jaringan umpan balik.

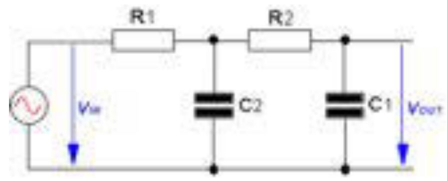
Gambar 2.23. menunjukkan perbedaan antara jaringan (*a*) penyaring pasif lulus bawah (*pasive low pass filter*) orde dua dengan (*b*) penyaring aktif lulus bawah (*active low pass filter*) orde dua, dimana komponen induktor (*L*) menjadi tidak penting lagi dan dapat digantikan dengan jaringan R-C.



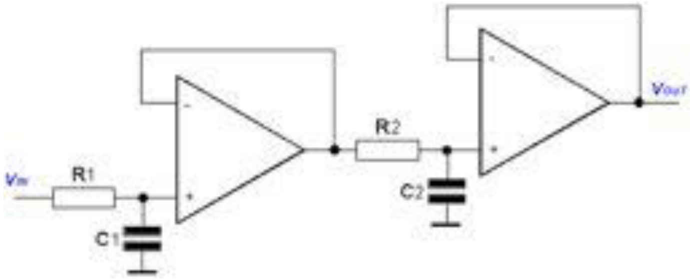
Gambar 12.23 Penyaring lulus bawah orde dua

Pada bab ini pokok bahasan akan diutamakan dan difokuskan pada jenis penyaring pasif, sedangkan untuk jenis aktif akan dijelaskan pada edisi khusu yang membahas penyaring secara detil.

Salah satu dari permasalahan dan tututan yang sangat penting didalam merancang sebuah jaringan filter adalah besarnya nilai faktor kualitas (Q). Keterbatasan didalam menentukan nilai (Q) tersebut sering terjadi pada jenis rangkaian filter dengan jaringan pasif.



(a)



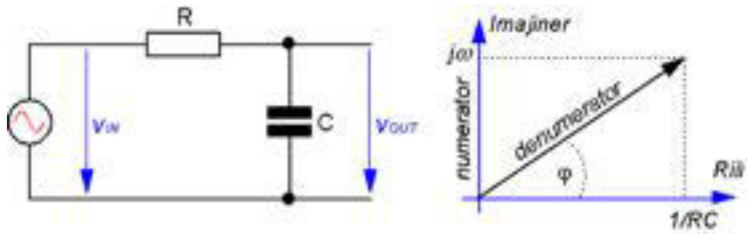
(b)

Gambar 2.24 Penyaring lulus bawah orde dua dengan Q lebih baik

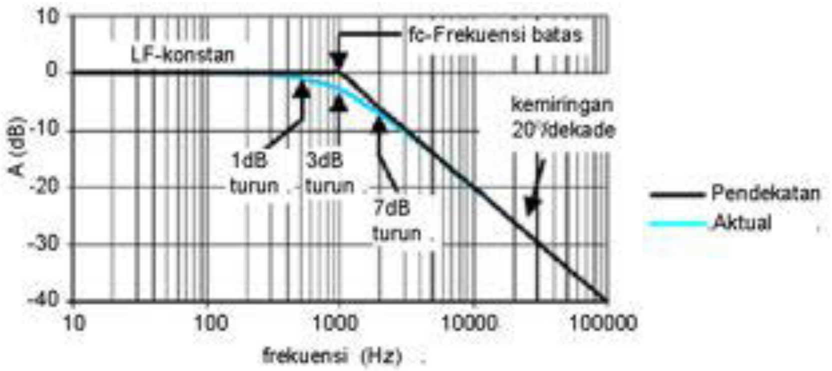
Gambar 2.24(a) menunjukan sebuah jaringan R-C dua tingkat yang membentuk suatu tapis pelalu rendah orde dua pasif (*LPF-passive low pass filter*). Permasalahan pada tapis jenis ini adalah keterbatasan besarnya faktor kualitas (Q) selalu lebih kecil dari 0,5. Dan dengan nilai-nilai R_1=R_2 dan C_1=C_2, maka besarnya faktor kualitas (Q) turun menjadi 1/3. Nilai faktor kualitas (Q) akan mendekati nilai maksimum 0.5, manakala besarnya impedansi yang dibentuk oleh jaringan R-C pada tingkat kedua nilainya dibuat jauh lebih besar. Suatu permasalahan didalam perancangan suatu jaringan tapis pelalu frekuensi adalah bahwa tuntutan pada ketergantungan nilai faktor kualitas (Q) lebih besar dari 0.5. Untuk menaikan besarnya faktor kualitas tersebut, maka pemecahannya adalah dengan menggunakan penyaring jenis aktif (*active filter*). Untuk meningkatkan faktor kualitas (Q) dapat dengan menaikkan orde suatu penyaring. Resiko yang tidak bisa dihindari dari menaikkan orde suatu penyaring adalah munculnya lonjakan tegangan disekitar frekuensi batas -3dB. Permasalahan lain yang muncul impedansi rangkaian secara keseluruhan menjadi menurun, untuk itu diantara jaringan (*RC*) diperlukan rangkaian penyangga seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.24(b).

Penyaring Lulus Bawah (*Low Pass Filter-LPF*)

Gambar 2.25 memperlihatkan sebuah penyaring R-C lulus bawah pasif orde satu.



Gambar 12.25 Penyaring R-C lulus bawah



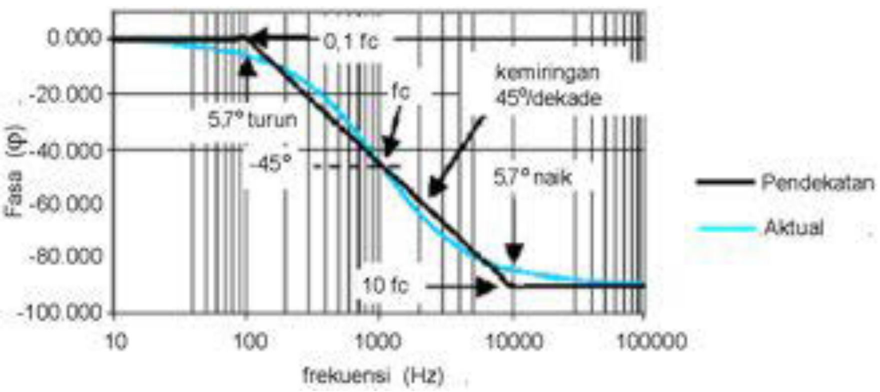
Gambar 12.26 Pita frekuensi penyaring lulus bawah

Secara matematis fungsi alih dari jaringan diatas adalah

$$A(j\omega) = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{\frac{1}{j\omega \cdot C}}{\frac{1}{j\omega \cdot C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot RC} \qquad (2.64)$$

$$A(j\omega) = \frac{Numerator}{Denumerato\ r} = \frac{|1|}{|1 + j\omega \cdot CR|} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot RC)^2}} \qquad (2.65)$$

$$\angle A(j\omega) = \angle \text{num} - \angle \text{den} = 0 - \text{ATAN}\ (\omega C R) \qquad (2.66)$$



Gambar 12.27 Tanggapan fasa penyaring R-C lulus bawah orde satu



Dalam bentuk transformasi laplace (s)

$$A(j\omega)=\frac{\frac{1}{R\cdot C}}{\frac{1}{R\cdot C}+s}=\frac{1}{1+s\cdot RC} \tag{2.67}$$

Gambar 2.26 memperlihatkan tanggapan frekuensi penyaring R-C lulus bawah orde satu, bila isyarat masukan merupakan variabel frekuensi yang komplek ($s=j\omega+\sigma$), dengan mempertimbangkan kapan saja isyarat variabel. Bila isyarat masukan adalah gelombang sinus murni, maka mengakibatkan konstanta redarnan (σ) menjadi nol, dan dengan demikian ($s=j\omega$). Untuk suatu presentasi yang dinormalisir dan merupakan tranfer fungsi (s) disebut sudut penyaring dengan frekuensi batas pada –3dB, maka perubahan frekuensi *(*ωC) mempunyai hubungan seperti berikut:

$$s=\frac{s}{\omega_C}=\frac{j\omega}{\omega_C}=j\frac{f}{f_C}=j\Omega \tag{2.68}$$

Dengan demikian sudut frekuensi dari low-pass pada Gambar 2.23 menjadi f_C= $1/2\pi RC$, maka operasi (s) menjadi s= *(s)RC* dan fungsi alih A(s) dapat ditulis menjadi:

$$A_{(S)}=\frac{1}{\sqrt{1+s}} \tag{2.69}$$

dengan demikian magnitude tanggapan penguatan rangkaian adalah:

$$|A|=\frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}} \tag{2.70}$$

Pada saat kondisi frekuensi Ω>> *1*, kemiringan kurva adalah *20*dB/decade. Karena kejuraman kurva tergantung dari banyaknya tingkat (n) penyaring, dengan demikian cara merangkainya dapat dihubungkan secara berurutan (kaskade) seperti yang ditunjukan pada Gambar *2.24(a).* Untuk menghindari efek pembebanan yang terjadi pada Gambar *2.24(a),* maka penyelesaiannya adalah dengan cara membangun rangkaian penyesuai impedansi seperti yang diperlihatkan Gambar *2.24(b)*, dimana tujuannya adalah untuk memisahkan tingkat penyaring sehingga setiap penyaring dapat bekerja secara independen.

Untuk menentukan frekuensi batas (*cut-off*), maka bagian riil sama dengan bagian imajiner, sehinggga berlaku persamaan:

$$\omega_C \cdot R \cdot C = 1,\ \text{dan}\ \omega_C = \frac{1}{RC} \quad \Rightarrow C = \frac{1}{\omega_C \cdot R} \qquad (2.71)$$

sehingga dari persamaan (2.64) didapatkan persamaan:

$$A = \frac{1}{1 + j\omega R \dfrac{1}{\omega_C \cdot R}} = \frac{1}{1 + \left(\dfrac{\omega}{\omega_C}\right)} \qquad (2.72)$$

dan bila ω = $0.1.\omega_C$, maka didapatkan faktor penguatan tegangan $|A|$ = *0,995* dengan sudut fasa berkisar–$5,71^O$. Dengan cara yang sama, maka didapatkan hasil seperti tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Tanggapan penguatan dan fasa penyaring lulus bawah

Frek. (Hz)	Penguatan (V)	Penguatan (dB)		Fasa (φ°)	
	Tepat	Tepat	Pendekatan	Tepat	Pendekatan
	$\left(\sqrt{1+(\omega CR)^2}\right)^{-1}$	$20\log\lvert F(j\omega)\rvert$	$F > F_C$ A_{LF} - $20\log(F/Fc)$	$-ATAN(\omega CR)$	$10F_C > F > 0,1F_C$ $-45^o \times \log(F/0,1F_C)$
10	1.0000	0.00	0	-0.573	0
20	0.9998	0.00	0	-1.146	0
40	0.9992	-0.01	0	-2.291	0
80	0.9968	-0.03	0	-4.574	0
100	0.9950	-0.04	0	-5.711	0
200	0.9806	-0.17	0	-11.310	-13.55
400	0.9285	-0.64	0	-21.801	-27.09
800	0.7809	-2.15	0	-38.660	-40.64
1000	***0.7071***	***-3.01***	***0***	***-45.000***	***-45.00***
2000	0.4472	-6.99	-6.02	-63.435	-58.55
4000	0.2425	-12.30	-12.04	-75.964	-72.09



8000	0.1240	-18.13	-18.06	-82.875	-85.64
10000	0.0995	-20.04	-20.00	-84.289	-90
20000	0.0499	-26.0314	-26.02	-87.138	-90
40000	0.0250	-32.0439	-32.04	-88.568	-90
80000	0.0125	-38.0625	-38.06	-89.284	-90

Frekuensi batas (F_C) dapat didefinisikan sebagai pita frekuensi batas dimana penguatan mengalami pelemahan (-3dB) atau faktor 0,707. Pada tabel 2.1 terlihat bahwa jaringan R-C bekerja sebagai penyaring lulus bawah mulai dari 0 sampai 1000kHz. Pada kondisi ini tegangan keluaran dan tegangan masukan sama besar di garis penguatan sebesar 0dB. Penguatan (*A*) diluluskan (*pass band gain)*. Besarnya pergeseran sudut fasa sebesar -45°. Penyaring orde satu memiliki kemiringan (*slope*) sebesar -20dB/dekade dihitung mulai dari frekuensi 10000Hz sampai 100000Hz.

Contoh 1:

Rencanakan penyaring R-C lulus bawah bekerja pada frekuensi batas (f_C) = 1000Hz pada -3dB. Tentukan besarnya resistor (*R*), bila diketahui kapasitor (*C*) = 10nF.

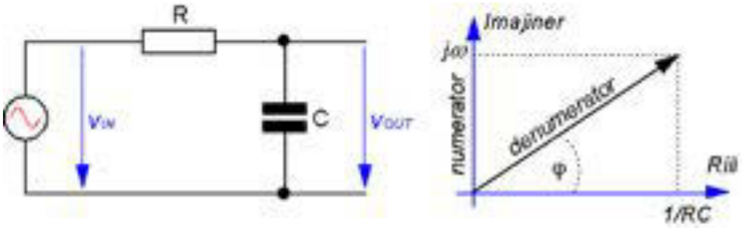
Penyelesaian:

$$f_C = \frac{1}{2\,\pi\,R\,C}$$

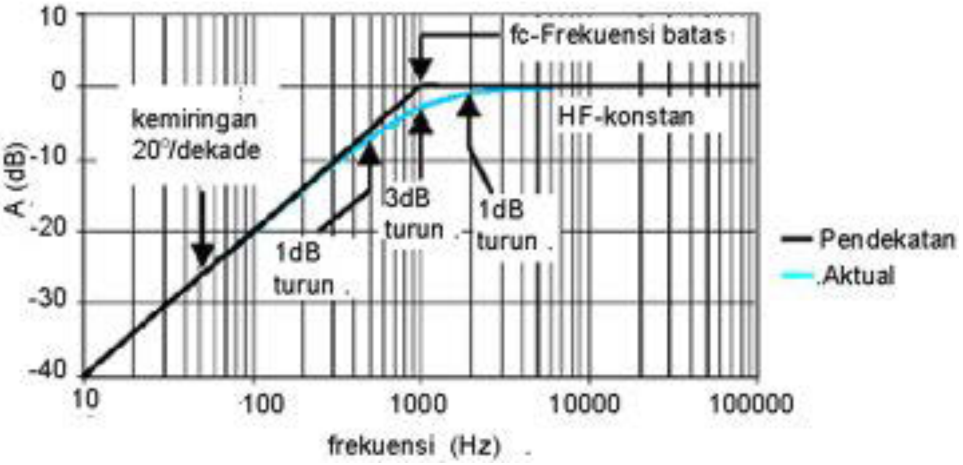
$$R = \frac{1}{2\,\pi\,f_C\,C} = \frac{1}{2\,\pi\,1000Hz \cdot 10 \cdot 10^{-9}\,F} \Rightarrow R = 15915\,\Omega$$

Penyaring Lulus Atas (*High Pass Filter-HPF*)

Gambar 2.28 memperlihatkan sebuah penyaring R-C lulus atas pasif orde satu.



Gambar 12.28 Penyaring R-C lulus atas



Gambar 12.29 Pita frekuensi penyaring lulus atas

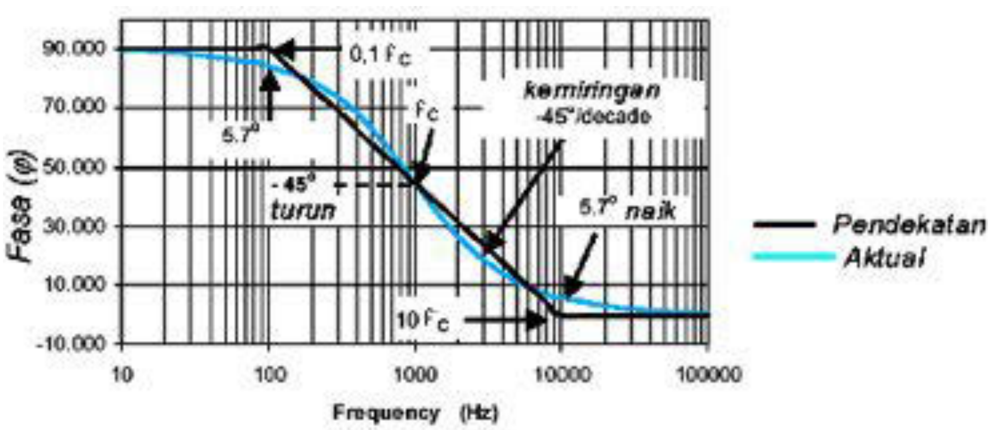
Secara matematis fungsi alih dari jaringan diatas adalah

$$A(j\omega) = \frac{V_{OUT}(j\omega)}{V_{IN}(j\omega)} = \frac{j\omega}{j\omega + \frac{1}{RC}} \tag{2.73}$$

$$A(j\omega) = \frac{Numerator}{Denumerator} = \frac{|j\omega|}{\left|j\omega + \frac{1}{CR}\right|} = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}} \tag{2.74}$$

$$|A(j\omega)| = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega R C}\right)^2}\right)^{-1} \tag{2.75}$$

$$\angle A(j\omega) = \angle \text{num} - \angle \text{den} = 90^0 - \text{ATAN}\ (\omega C R) \tag{2.76}$$



Gambar 12.30 Tanggapan fasa penyaring R-C lulus atas orde satu

Dalam bentuk transformasi laplace (*s*)

$$A(j\omega)=\frac{R}{R+\frac{1}{s.C}}=\frac{(RC)s}{1+s(RC)}=\frac{s}{s+\frac{1}{RC}} \qquad (2.77)$$

Contoh 1:

Rencanakan penyaring R-C lulus atas bekerja pada frekuensi batas (f_C) = 1000Hz pada -3dB. Tentukan besarnya kapasitor (*C*), bila diketahui resistor (*R*) = 15915.

Penyelesaian:

$$f_C=\frac{1}{2\,\pi\,R\,C}$$

$$C=\frac{1}{2\,\pi\,f_C\,R}=\frac{1}{2\,\pi\,1000Hz\;15915\,\Omega}=10nF$$

Tabel 2.2 Tanggapan penguatan dan fasa penyaring lulus atas

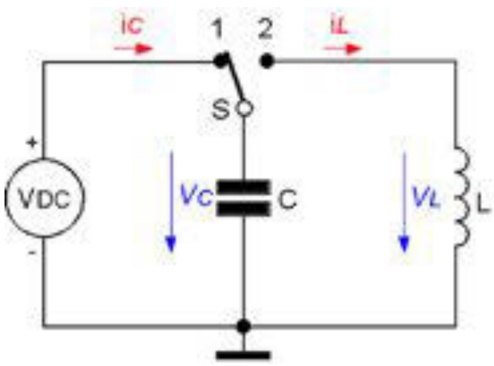
Frek. (Hz)	Penguatan (V)	Penguatan (dB)		Fasa (φ°)	
	Tepat	Tepat	Pendekatan	Tepat	Pendekatan
	$\left(\sqrt{1+\left(\frac{1}{\omega CR}\right)^2}\right)^{-1}$	$20\log\lvert F(j\omega)\rvert$	$F<F_C$ A_{HF} - $20\log(F_C/F)$	90^o $-ATAN(\omega CR)$	$10F_C>F>0,1F_C$ $90^o-45^0\log(F/0,1F_C)$
10	0.0100	-40.00	89.427	-40	90
20	0.0200	-33.98	88.854	-33.979	90
40	0.0400	-27.97	87.709	-27.959	90
80	0.0797	-21.97	85.426	-21.938	90
100	0.0995	-20.04	84.289	-20	90
200	0.1961	-14.15	78.690	-13.979	76.45
400	0.3714	-8.60	68.199	-7.9588	62.91
800	0.6247	-4.09	51.340	-1.9382	49.36
1000	**0.7071**	***-3.01***	**45.000**	***0,00***	**45.00**

2000	0.8944	-0.97	26.565	0,00	31.45
4000	0.9701	-0.26	14.036	0,00	17.91
8000	0.9923	-0.07	7.125	0,00	4.36
10000	0.9950	-0.04	5.711	0,00	0
20000	0.9988	-0.01	2.862	0,00	0
40000	0.9997	0.00	1.432	0,00	0
80000	0.9999	0.00	0.716	0,00	0
100000	1.0000	0.00	0.573	0,00	0

Frekuensi batas (F_C) dapat didefinisikan sebagai pita frekuensi batas dimana penguatan mengalami pelemahan (-3dB) atau faktor 0,707. Pada tabel 2.2 terlihat bahwa jaringan R-C bekerja sebagai penyaring lulus atas mulai dari (F_C)≥100kHz tegangan keluaran dan tegangan masukan sama besar di garis penguatan sebesar 0dB. Besarnya pergeseran sudut fasa sebesar 45°. Penyaring orde satu memiliki kemiringan sebesar 20dB/dekade dihitung mulai dari frekuensi 10Hz sampai 100Hz.

12.3. Rangkaian Resonantor

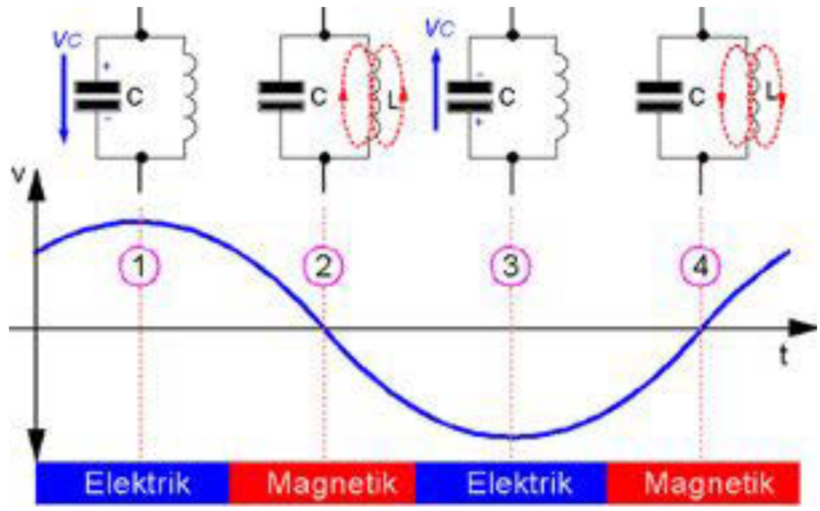
Suatu jaringan resonansi sederhana dapat dibangun dengan menggunakan dua komponen, yakni kapasitor dan Induktor. Prinsip dasar dari rangkaian resonansi adalah bagaimana menyimpan dan melepas energi listrik secara terus menerus tanpa adanya redaman. Kapasitor dan induktor dapat digunakan untuk menyimpan energi sementara. Pengisian dan pengosongan energi dapat dilakukan dengan cara mekanis, yaitu merubah posisi saklar S pada posisi 1 dan posisi 2.



Gambar 12.31 Rangkaian resonator LC sumber tegangan-DC

Gambar 2.31 memperlihatkan rangkaian resonator yang dibangun dengan menggunakan dua komponen pasif kapasitor dan induktor yang terhubung paralel. Pada kondisi saklar S posisi 1, kapasitor (*C*) diisi energi listrik dari sumber tegangan DC sampai mencapai $V_O = V_C$. Pada kondisi saklar posisi 2 kapasitor memberikan energi pada induktor, sehingga berlaku persamaan arus seperti berikut,

$$i(t) = i_L(t) = -i_C(t) = \frac{1}{L}\int_0^t u_L(t)\,dt \qquad (2.78)$$



Gambar 12.32 Rangkaian resonator LC arus bolak-balik

Gambar 2.32 memperlihatkan prinsip dasar rangkaian resonansi dengan arus bolak-balik, dimana pada saat kondisi (1) kapasitor (C) terisi energi listrik. Pada saat kondisi (2) kapasitor membuang energi listrik ke induktor (L) menjadi energi magnetik. Pada saat kondisi (3) induktor (L) membuang energi magnetik ke kapasitor (C) menjadi energi listrik dengan polaritas berkebalikan dengan saat kondisi (1). Pada saat kondisi (4) kapasitor membuang energi listrik ke induktor (L) menjadi energi magnetik dengan polaritas berkebalikan dengan saat kondisi (2).

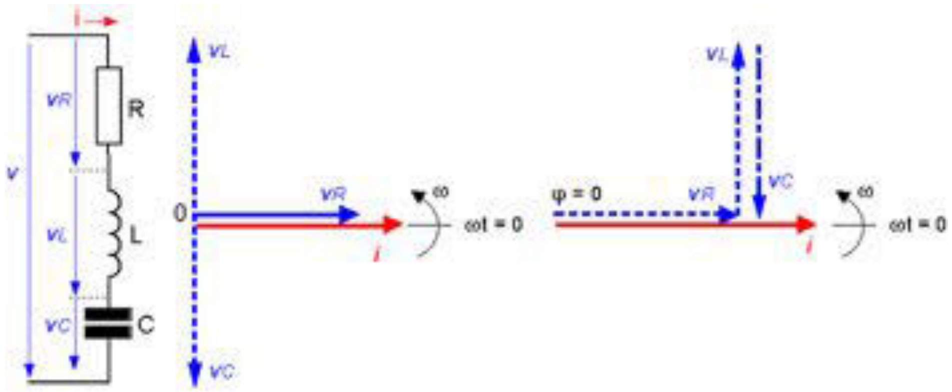
12.3.1. Osilasi dan Resonansi

Suatu rangkaian dikatakan beresonasi ketika tegangan (v) dan arus (i) berada dalam satu fasa (sudut fasa $\varphi = 0$). Pada kondisi beresonasi impedansi yang dihasilkan oleh rangkaian seluruhnya adalah komponen riil atau impedansi komplek hanya terdiri dari komponen resistor murni (*R*). Pada dasarnya konsep

resonansi adalah menghilangkan komponen imaginer atau reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C) saling meniadakan. Gambar 2.33 menunjukkan sebuah rangkaian resonansi yang paling sederhana. Pada frekuensi yang sangat rendah, sinyal yang lewat akan di-blok oleh kapasitor (*C*), dan sinyal pada frekuensi yang sangat tinggi akan di-blok oleh induktor (*L*). Dan pada suatu frekuensi tertentu akan didapat kondisi impedansi dari induktor sama besar dengan impedansi kapasitor (saling menghilangkan). Kondisi ini dinamakan rangkaian dalam keadaan beresonansi. Frekuensi yang menyebabkan kondisi di atas disebut frekuensi resonansi, karena pada keadaan di atas rangkaian ini sedang ber-resonansi, atau energi yang dimiliki oleh *L* (energi magnetik) sama besar dengan energi yang dimiliki oleh *C* (energi elektrik). Frekuensi ini bisa dihitung, jika nilai *L* dan *C* diketahui.

12.3.2. Jaringan Resonansi Seri

Gambar 2.33 memperlihatkan rangkaian resonansi R-L-C dan diagram fasor arus tegangan. Pada hubungan seri antara resistor (*R*), induktor (*L*)



Gambar 12.33 Rangkaian resonansi R-L-C seri

dan kapasitor (*C*) akan terjadi keadaan khusus, yaitu bilamana reaktansi induktif (X_L) menjadi sama besar dengan reaktansi kapasitif (X_C). Reaktansi induktif $X_L = 2.\pi.f.L$ akan membesar bila ada kenaikan frekuensi (*f*), sebaliknya reaktansi kapasitif $X_C = 1/(2.\pi.f.C)$ akan mengecil bila ada ada kenaikan frekuensi (*f*).

Untuk setiap hubungan seri antara induktor (*L*) dan kapasitor (*C*) terdapat suatu harga frekuensi, dimana nilai $X_L = X_C$. Frekuensi tertentu ini dinamakan frekuensi resonansi (*fo*). Sedangkan gejala tersebut dinamakan resonansi seri,

dan rangkaian arus bolak-balik ini dinamakan rangkaian resonansi seri. Ferkuensi resonansi (*fo*) diperoleh ketika X_L = X_C, sehingga didapatkan hubungan:

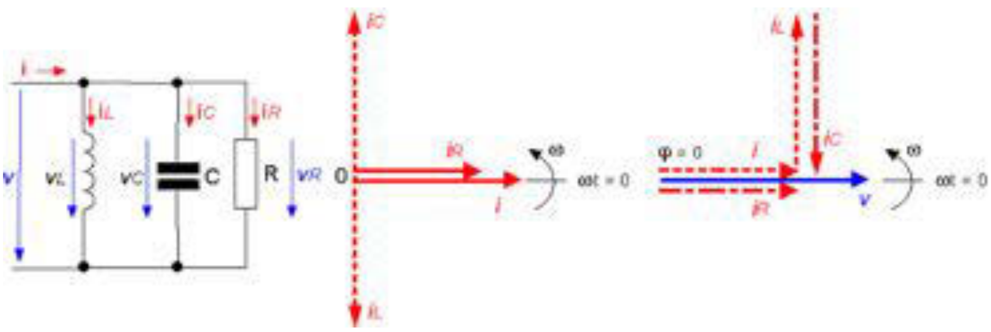
$$2.\pi.f.L = \frac{1}{2.\pi.\text{f.C}} \quad (2.79)$$

$$fo = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{\text{L.C}}} \quad (2.80)$$

Dalam keadaan resonansi, terjadi dimana resistansi semu atau impedansi (*Z*) sama dengan resistansi efektif (*R*) mencapai nilai yang paling kecil, karena kedua reaktansi (X_L) dan (X_C) saling menghapuskan. Kedua tegangan reaktif X_L = $i.X_L$dan X_C = $i.X_C$ secara fasor berlawanan arah dan sama besar sehinggga kedua tegangan akan saling meniadakan. Tegangan gabungan (*v*) adalah sama dengan tegangan jatuh pada resistor (v_R) dengan perbedaan sudut fasa (φ) = 0.

Karena tegangan-tegangan tersebut dapat menjadi sangat besar, sehingga jauh melebihi nilai tegangan total (gabungan), oleh karena itu dalam penerapan pencatuan sumber arus harus dihindari untuk keadaan resonansi. Penerapan rangkaian resonansi banyak digunakan pada rangkaian pelalu (*filter*) seperti pada pesawat radio, yang mana fungsinya adalah untuk memisahkan frekuensi yang tidak dikehendaki.

12.3.3. Jaringan resonansi paralel



Gambar 12.34 Rangkaian resonansi R-L-C paralel

Gambar 2.34 memperlihatkan rangkaian resonansi R-L-C paralel, pada hubungan paralel antara resistor (*R*), induktor (*L*) dan kapasitor (*C*) akan terjadi keadaan khusus, yaitu bilamana daya hantar induktif (B_L) menjadi sama besar

dengan daya hantar kapasitif (B_C). Daya hantar reaktif kapasitif $B_C = 2.\pi.f.C$ akan naik dengan meningkatnya frekuensi (*f*), sebaliknya daya hantar reaktif induktif $X_L = 1/(2.\pi.f.L)$ akan turun dengan meningkatnya frekuensi (*f*).

Jadi untuk setiap hubungan paralel antara induktor (*L*) dan kapasitor (*C*) terdapat suatu harga frekuensi, dimana nilai $B_L = B_C$. Frekuensi tertentu ini dinamakan frekuensi resonansi (*fo*). Sedangkan gejala tersebut dinamakan resonansi paralel, dan rangkaian arus bolak-balik ini dinamakan rangkaian resonansi paralel. Frekuensi resonansi (*fo*) diperoleh ketika $B_L = B_C$, sehngga didapatkan hubungan:

$$\frac{1}{2.\pi.f.L} = 2.\pi.\text{f.C} \qquad (2.81)$$

$$fo = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{\text{L.C}}} \qquad (2.82)$$

Jadi frekuensi resonansi paralel sama dengan frekuensi resonansi seri pada rangkaian resonansi seri.

Dalam keadaan resonansi, terjadi dimana arus reaktif kapasitif (i_C) dan arus reaktif induktif (i_L) adalah sama, dengan demikian kedua arus ini saling meniadakan. Arus gabungan (*i*) adalah sama dengan arus pada resistor (i_R) dengan perbedaan sudut fasa (φ) = 0. Oleh karena daya hantar induktif (B_L) sama dengan daya hantar reaktif kapasitif (B_C), maka daya hantar semu (*Y*) mencapai nilai yang paling kecil, sebaliknya resistansi semu *Z=1/Y=R* bernilai paling besar.

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \qquad (2.83)$$

$$Y = \sqrt{G^2 + 0^2} \qquad (2.84)$$

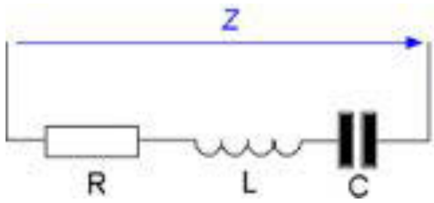
sehingga

Y = G, dan Z = R

Oleh karena resistansi pada keadaan resonansi paralel dapat mencapai nilai yang paling besar, maka rangkaian resonansi ini banyak digunakan sebagai rangkaian penghambat.

12.3.4. Frekuensi resonansi

Telah dijelaskan diatas, bahwa rangkaian dalam keadaan beresonansi bilamana komonen-komponen imajiner saling menghilangkan, sehingga rangkaian bersifat resistif murni (*R*).



Gambar 12.35 Rangkaian R-L-C seri

Untuk rangkaian resonator R-L-C seri Gambar 2.35 impedansi (Z) dari rangkaian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z = R + j\left(X_L + X_C\right) \qquad (2.85)$$

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \qquad (2.86)$$

dimana:

Z adalah impedansi (besaran komplek) dalam (Ω).

R adalah resistor efektif dalam (Ω)

L adalah induktor dalam *(H)*

C adalah kapasitor dalam (*F*)

$f = \omega/2.\pi$ adalah frekuensi arus bolak-balik (Hz).

Impedansi (Z) mempunyai nilai mutlak

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \qquad (2.87)$$

dan sudut fasa (ϕ)

$$\phi = \arctan\left(\frac{R}{\omega L - \frac{1}{\omega C}}\right) \qquad (2.88)$$

atau impedansi (*Z*) dapat juga dituliskan seperti persamaan berikut

$$Z = |Z|\, e^{j\phi} \qquad (2.89)$$

Jika melihat persamaan untuk impedansi (*Z)* di atas, maka terlihat adanya kemungkinan, bahwa pada suatu frekuensi tertentu (*Z)* menjadi riil, atau

$$\omega L - \frac{1}{\omega C}\bigg|_{\omega=\omega o} = 0 \qquad (2.90)$$

Frekuensi yang menyebabkan kondisi di atas disebut frekuensi resonansi (f_O), karena pada saat kondisi ini rangkaian bekerja sebagai rangkaian resonansi. Pada keadaan ini energi yang dimiliki oleh *L* (energi magnetik) sama besar dengan energi yang dimiliki oleh *C* (energi elektrik). Frekuensi resonansi (f_O) dapat dihitung, jika nilai *L* dan *C* diketahui:

$$\omega_o L - \frac{1}{\omega_o C} = 0 \qquad (2.91)$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L C}} \qquad (2.92)$$

atau

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C}} \qquad (2.93)$$

Sebaliknya jika diinginkan, rangkaian tersebut berresonansi pada suatu frekuensi tertentu, maka kita harus mengubah nilai *L* atau *C* atau keduanya. Pekerjaan ini lebih dikenal dengan sebutan proses penalaan. Arus yang mengalir pada rangkaian R-L-C serial ini, akan menghasilkan tegangan pada setiap komponennya. Tegangan yang terbebani pada (*L*) selalu mempunyai perbedaan fasa sebesar 180^o terhadap tegangan yang berada pada (*C*). Sehingga pada saat resonansi kedua tegangan itu sama besar, maka akan saling menghilangkan, sehingga tegangan total pada rangkaian R-L-C saat resonansi sama dengan tegangan jatuh pada resistor (*R*).

12.3.5. Lebar Pita dan Faktor kualitas

Faktor (*quality factor*-Q) dari rangkaian R-L-C seri dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan jatuh pada induktor (*L*) dan tegangan jatuh pada resistor (*R*) pada saat kondisi resonansi. Faktor kualitas (Q) dapat dinyatakan:

$$Q = \left|\frac{v_L}{v_R}\right| = \frac{|i\ j\omega_o L|}{|i.R|} = \frac{\omega_o L}{R} \qquad (2.94)$$

dengan

$$\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} \qquad (2.95)$$

maka didapatkan faktor kualitas (Q) seperti berikut

$$Q = \frac{1}{\omega_o C R} \qquad (2.96)$$

Impedansi (*Z*) dari rangkaian R-L-C serial bisa juga dituliskan dengan

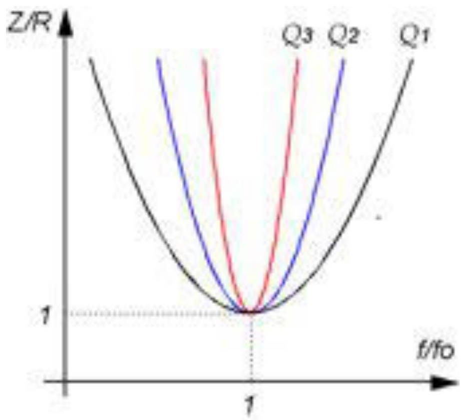
$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

$$= R\left(1 + j\left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega C R}\right)\right)$$

$$= R\left(1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_o}\frac{\omega_o L}{R} - \frac{\omega_o}{\omega}\frac{1}{\omega_o C R}\right)\right)$$

$$= R\left(1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_o}Q - \frac{\omega_o}{\omega}Q\right)\right)$$

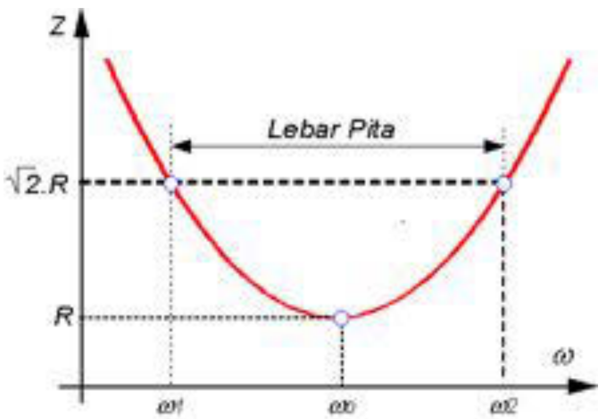
$$= R\left(1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)\right) \qquad (2.97)$$



Gambar 12.36 Kurva faktor kualitas Q rangkaian R-L-C seri

Dengan $Q_1 < Q_2 < Q_3$, maka mengakibatkan faktor (Q) dari rangkaian ini semakin membesar, dengan membesarnya faktor kualitas (Q) membuat kurva impedansi semakin melengkung, dan hal ini menunjukkan bahwa tingkat selektivitas dari rangkaian R-L-C serial semakin naik/selektif.

Pada saat $\omega = \omega_o$ didapatkan nilai $|Z| = R$, dan pada saat kondisi frekuensi $\omega \neq \omega_o$ didapatkan nilai $|Z| > R$. Pada umumnya rangkaian yang mempunyai karakteristik tergantung dari fungsi dari frekuensi, maka rangkaian tersebut berfungsi seperti filter. Pada saat frekuensi resonansi, rangkaian ini mempunyai suatu karakteristik yang khusus, yaitu $|Z| = R$. Bilamana frekuensi diubah, maka kondisi $|Z| = R$ menjadi tidak dipenuhi, atau makin jauh perbedaanya. Tetapi pada perubahan frekuensi tertentu, dimana nilai impedansi $|Z|$ masih cukup dekat dengan nilai resistor (R), yaitu dimana sampai batas $|Z| = \sqrt{2}R$. Perubahan frekuensi sehingga sampai pada batas dimana $|Z| = \sqrt{2}R$ disebut dengan lebar pita (*band width*)



Gambar 12.37 Lebar pita rangkaian R-L-C seri

Dengan

$$Z = R\left(1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)\right) \qquad (2.98)$$

maka

$$Z = R\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)^2} \qquad (2.99)$$

dengan kondisi

$$Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)^2 = 1 \qquad (2.100)$$

maka nilai impedansi $|Z|$ pada saat resonansi dapat ditentukan

$$|Z| = \sqrt{2}\,R\ , \qquad (2.101)$$

atau

$$Q\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right) = \pm 1$$

$$\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right) = \pm\frac{1}{Q} \qquad \text{dikalikan dengan } \omega$$

$$\frac{1}{\omega_o}\omega^2 \pm \frac{1}{Q}\omega - \omega_o = 0 \qquad (2.102)$$

dimana ω_o dan Q merupakan konstanta, sehingga dapat dicari dengan menggunakan rumus ABC, maka didapatkan:

$$\omega_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad (2.103)$$

$$= \frac{\pm\frac{1}{Q} \pm \sqrt{\frac{1}{Q^2} - 4}}{2\frac{1}{\omega_o}}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{\omega_o}{Q}\left(\pm 1 \pm \sqrt{4Q^2 + 1}\right)$$

karena ω harus positif, dan $\sqrt{4Q^2 + 1} > 1$, maka,

$$\omega_{1,2} = \frac{1}{2}\frac{\omega_o}{Q}\left(\pm 1 + \sqrt{4Q^2 + 1}\right) \qquad (2.104)$$

Jadi

$$\omega_1 = \frac{1}{2}\frac{\omega_o}{Q}\left(\sqrt{4Q^2 + 1} - 1\right) \qquad (2.105)$$

dan

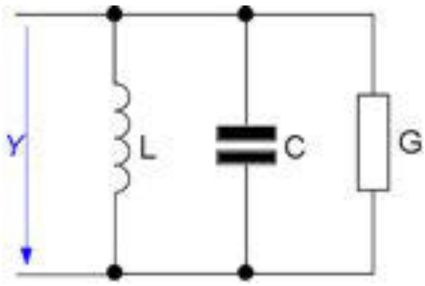
$$\omega_2 = \frac{1}{2}\frac{\omega_o}{Q}\left(\sqrt{4Q^2+1}+1\right) \tag{2.106}$$

Sehingga lebar pita (*bandwidth*) dari rangkaian R-L-C seri di atas menjadi

$$B = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\,\pi} = \frac{\omega_o}{2\,\pi\,Q} = \frac{f_o}{Q} \tag{2.107}$$

Semakin besar nilai faktor kualitas (Q) dari rangkaian R-L-C seri, hal ini menunjukkan bahwa rangkaian tersebut semakin selektif. Ini artinya rangkaian ini memiliki lebar pita (*bandwidth-B*) semakin menyempit. Dan sebaliknya, jika faktor kualitas (Q) semakin kecil, maka lebar pita semakin besar. Jadi lebar pita (*B*) berbanding terbalik dengan faktor kualitas (Q).

Rangkaian R-L-C paralel; Telah dijelaskan diatas, bahwa rangkaian dalam keadaan beresonansi bilamana komonen-komponen imajiner saling menghilangkan, sehingga rangkaian bersifat resistif murni (*R*). Untuk analisa rangkaian pada resonator R-L-C paralel, digunakan metode admitansi (daya hantar) resistor (*G*) dan daya hantar semu (*Y*).



Gambar 12.38 Rangkaian R-L-C paralel

Gambar 2.38 memperlihatkan daya hantar (*G*) terhubung secara paralel dengan induktor (*L*) dan kapasitor (*C*).

Daya hantar atau admitansi (*Y*) dari rangkaian ini adalah:

$$Y = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \tag{2.108}$$

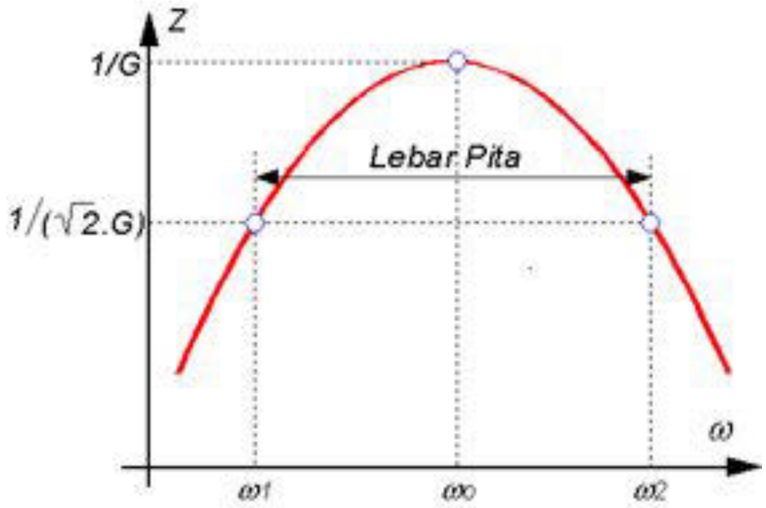
Seperti halnya rangkaian RLC serial, di rangkaian RLC paralel didapati frekuensi resonansi sebesar

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L\,C}} \qquad (2.109)$$

sehingga diperoleh frekuensi resonansi (f_O)

$$f_o = \frac{1}{2\,\pi\,\sqrt{L\,C}} \qquad (2.110)$$

Dengan definisi



Gambar 12.39 Lebar pita rangkaian R-L-C paralel

Faktor kualitas (Q)

$$Q = \left.\frac{|i_L|}{|i_G|}\right|_{\omega=\omega o} = \frac{\dfrac{|v|}{\omega_o\,L}}{|v|\,G} \qquad (2.111)$$

maka

$$Q = \frac{1}{\omega_o\,L\,G} = \frac{\omega_o\,C}{G} \qquad (2.112)$$

Didapat juga hubungan dengan daya hantar semu (Y)

$$Y = G\left(1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)\right) \qquad (2.113)$$

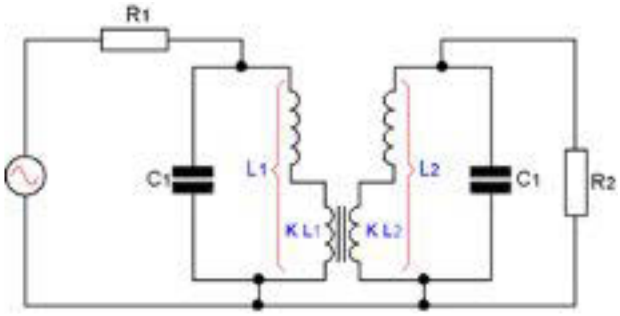
dan lebar pita (B)

$$B = \frac{\omega_o}{2\pi Q} = \frac{f_o}{Q} \qquad (2.114)$$

Semakin besar nilai faktor kualitas (Q) dari rangkaian R-L-C seri, hal ini menunjukkan bahwa rangkaian tersebut semakin selektif. Ini artinya rangkaian ini memiliki lebar pita (*bandwidth-B*) semakin menyempit. Dan sebaliknya, jika faktor kualitas (Q) semakin kecil, maka lebar pita semakin besar. Jadi lebar pita (*B*) berbanding terbalik dengan faktor kualitas (Q) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.39.

12.3.6. Penyaring Laluan Pita Penalaan Ganda

Pada pesawat Radio dan Televisi banyak dijumpai dua buah penyaring lulus tengah (band pass filter) yang dihubungkan/dikopel secara induktif dengan sebuah transformator frekuensi tinggi atau kopel kapasitif. Kedua rangkaian resonator mempunyai frekuensi resonansi (*fo*) yang sama. Gambar 12.40 memperlihatkan rangkaian penyaring pita laluan penalaan ganda atau disebut penyaring selektif (*band pass filter*).

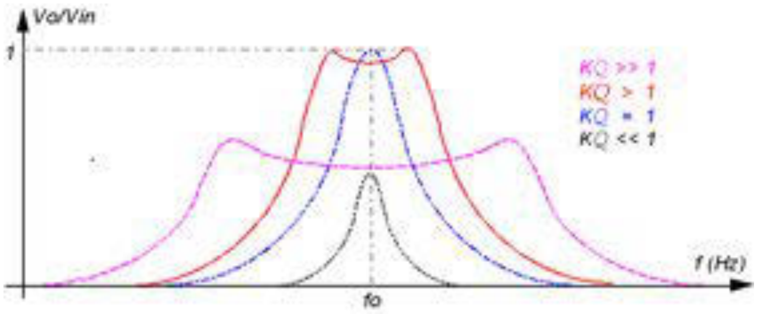


Gambar 12.40 Rangkaian penyaring penalaan Ganda

Selama penalaan frekuensi pada salah satu sisi dari kedua jaringan resonator, maka sisi yang lainnya harus dalam kondisi terhubung singkat. Pada saat kondisi sebagai penghubung tegangan jaringan penyaring pertama menyalurkan tegangan tersebut ke jaringan kedua secara induktif melalui kopel transformator. Dan apabila yang disalurkan adalah arus, maka pada jaringan pertama terjadi pembagian arus sehingga yang disalurkan ke jaringan kedua hanya sebagian saja.

Pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi jaringan resonator mempunyai resistansi semu kecil. Sedangkan pada saat kondisi frekuensi resonansi jaringan resonator mempunyai resistansi semu besar. Oleh karena itu pada

keluaran hanya terdapat tegangan dengan satu pita frekuensi yang cukup kecil. Penyaring selektif memberikan tegangan keluaran dengan amplitudo yang mendekati sama pada daerah frekuensi tengah.

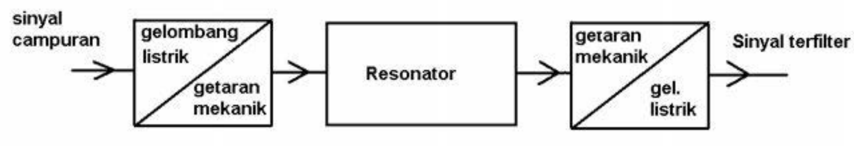


Gambar 12.41 Pita laluan dari penyaring selektif

Gambar 12.41 memperlihatkan pita laluan dari penyaring selektif untuk berbeda-beda penalaan.

2.3.7. Penyaring Laluan Pita Mekanik

Filter Mekanik, pada aplikasi pengolahan frekuensi tinggi, sinyal campuran biasanya terdiri dari campuran sinyal-sinyal informasi dan pembawa serta harmonisa-harmonisa. Untuk itu diperlukan filter yang menyaring sinyal dengan frekuensi yang dikehendaki. Salah satu sistem penyaringan adalah dengan menerapkan filter mekanik yang di dalamnya terdapat system mekanik dengan menerapkan resonator. Dalam filter mekanik tersebut sinyal listrik dirubah ke dalam getaran mekanik (resonator) kemudian dirubah kembali ke dalam sinyal listrik (Gambar 2.42).

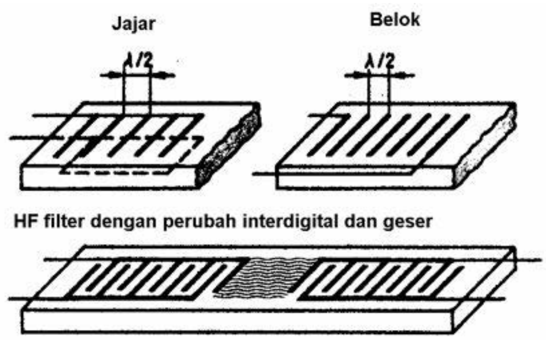


Gambar 2.42 Blok diagram filter mekanik

Sebagai perubah bentuk sinyal listrik ke dalam getaran mekanik tersebut menggunakan efek piezoelektrik atau magnetostriktif. Pada piezoelektrik sinyal listrik dirubah menjadi getaran mekanik dan pada manetostriktif getaran mekanik kembali dirubah ke dalam elektromagnet sehingga dihasilkan kembali sinyal listrik. Satu perioda getaran mekanik adalah sepanjang gelombang λ. Sedangkan resonansi tercapai pada setengah panjang gelombang. L =

λ./2. Kecepatan rambat gelombang c harus dipilih bahan yang sesuai untuk getaran sekitar 5000m/s. Untuk frekuensi f = 5 MHz, bila diketahui c = f.ℓ, maka panjang bahan resonator adalah 0,5 mm. Filter mekanik untuk frekuensi-frekuensi tinggi, sinyal terukur sangat kecil.

Pada filter mekanik ,gelombang listrik bergerak merambat di dalam ruang resonansi yang memiliki kecepatan gerak seperti di udara bebas, maka disebut dengan gelombang ruang. Pada frekuensi tinggi (*High Frequency*) yang masih tercampur, gelombang bergerak seperti rambatan gelombang air, sehngga bisa dibuat bentuk filter mekanik seperti Gambar 2.43. Jarak antara penghantar-penghantar kecil adalah setengah panjang gelombang. Hantaran-hantaran dalam jarak yang telah ditentukan akan menangkap getaran-getaran dari gelombang dengan frekuensi tertentu. Kemudian getaran-getaran dalam resonator yang ditangkap oleh hantaran tersebut dirubah kembali delam sinyal listrik. Dengan demikian frekuensi yang tidak dikehendaki diredam.



Gambar 12.43 Bentuk fisik filter mekanik

Filter frekuensi tinggi terdiri dari dua bentuk , bentuk sejajar dan belok. dengan perubah interdigital atau pergeseran hantaran. Pada filter frekuensi tinggi tidak tertutup kemungkinan terjadi loncatan gelombang seperti pada arah antenna pada resonator. Kurva termodulasi dari fiter frekuensi tinggi (HF) ditentukan oleh bentuk dari perubah.

12.4. Daya Pada Rangkaian Arus Bolak-Balik

Pengertian daya adalah perkalian antara tegangan yang diberikan ke beban dengan arus yang mengalir ke beban. Secara matematis daya $P(t)= V(t)\cdot I(t)$ dengan sumber tegangan dan arus bolak-balik. Daya dikatakan positif, ketika arus yang mengalir bernilai positif artinya arus mengalir dari sumber tegangan

menuju rangkaian (transfer energi dari sumber ke rangkaian beban). Daya dikatakan negatif, ketika arus yang mengalir bernilai negatif artinya arus mengalir dari rangkaian menuju sumber tegangan (transfer energi dari rangkaian beban ke sumber). Daya dikatakan positif, ketika arus yang mengalir bernilai positif artinya arus mengalir dari sumber tegangan menuju rangkaian (transfer energi dari sumber ke rangkaian). Daya dikatakan negatif, ketika arus yang mengalir bernilai negatif artinya arus mengalir dari rangkaian menuju sumber tegangan (transfer energi dari rangkaian ke sumber).

12.4.1. Daya Sesaat dan Daya Rata-Rata

Nilai sesaat suatu tegangan atau arus adalah nilai tegangan atau arus pada sebarang waktu peninjauan. Hal ini mengakibatkan munculnya daya sesaat: $p(t) = v(t) \times i(t)$. Pengertian besaran dalam persoalan pemindahan energi**.** Daya sesaat adalah daya yang terjadi pada saat hanya waktu tertentu ketika sebuah komponen mempunyai nilai tegangan dan arus yang mengalir padanya hanya saat waktu tersebut.

Contoh:

Sebuah komponen resistor dialiri arus sebesar $i(t)=10\sin 30t$ A pada tegangan $v(t)=\sin(30t+30^0)$. Tentukan besarnya daya saat $t=1detik$.

Penyelesaian:

$$P(t) = v(t)\,.\,i(t) = 10\sin 30t\ .\ 50\sin(30t + 30^o)$$

$$P(t) = 10\sin 30\ .\ 50\sin(30 + 30)$$

$$P(t) = 10\sin 30\ .\ 50\sin 60 = (500/4)\sqrt{3}$$

Nilai rata-rata suatu arus $i(t)$ dalam satu perioda merupakan arus konstan (DC), yang dalam perioda itu dapat memindahkan muatan (Q) yang sama. Atau secara matematis dinyatakan bahwa daya rata-rata adalah daya yang dihasilkan sebagai integral dari fungsi periodik waktu terhadap keseluruhan rentang waktu tertentu dibagi dengan periodanya sendiri.

Dan nilai arus rata-rata dapat dinyatakan seperti persamaan berikut

$$Irata\text{ - }rata = Q = \int_0^{t+T} i(t)\,dt = \int_0^{T} i(t)\,dt \qquad (2.115)$$

$$Irata\text{ - }rata = \frac{1}{T}\int_0^T i(t)\,dt \qquad (2.116)$$

Dengan cara yang sama didapatkan persamaan tegangan rata-rata:

$$Vrata\text{ - }rata = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt \qquad (2.117)$$

12.3 Rangkuman

- Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik, sebuah belitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen. Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan timbul tegangan listrik bolak-balik.
- Prinsip generator AC sesuai kaidah tangan kiri Flemming, belitan kawat dalam loop tertutup yang dipotong oleh garis gaya magnet, pada ujung belitan kawat akan timbul ggl induksi.
- Satu periode gelombang adalah satu siklus penuh, yaitu satu siklus positif dan satu siklus negatif.
- Bentuk gelombang AC bisa berupa gelombang sinusoida, gelombang kotak, gelombang pulsa dsb.
- Frekuensi adalah jumlah periode dalam satu detik. Listrik PLN dengan frekuensi 50 Hz, dalam satu detik terjadi perubahan siklus positif negatif sebanyak 50 kali dalam satu detiknya.
- Panjang gelombang, dihitung berdasarkan kecepatan cahaya, 300.000 km/detik.
- Harga rata-rata gelombang sinusoida, yaitu 0,636 harga maksimum
- Harga efektif dari suatu tegangan/ arus bolak balik (AC) adalah sama dengan besarnya tegangan/arus searah (DC) pada suatu tahanan, dimana keduanya menghasilkan panas yang sama.
- Harga efektif gelombang sinusoida besarnya 0,707 dari harga maksimum tegangan/arus.



- Pergeseran phasa terjadi ketika tahanan R dirangkai seri dengan Kapasitor dan dipasang pada sumber tegangan bolak balik.
- Kapasitor menyebabkan pergeseran phasa dimana tegangan drop di Kapasitor mendahului (leading) terhadap tegangan sumbernya.
- Induktor menyebabkan pergeseran phasa arus tertinggal (lagging) terhadap tegangan sumbernya.
- Kapasitor memiliki sifat melewatkan arus bolak balik.
- Nilai reaktansi Kapasitor berbanding terbalik dengan kapasitansinya ($XC= 1/ 2.\pi.f.C$)
- Makin besar frekuensi nilai reaktansi kapasitif menurun, pada frekuensi rendah nilai reaktansi kapasitif meningkat.
- Reaktansi Induktif (XL) berbanding lurus dengan frekuensi ($XL= 2.\pi.f.L$).
- Makin besar frekuensi nilai reaktansi induktif meningkat, pada frekuensi rendah nilai reaktansi induktif akan menurun.
- Drop tegangan induktor mendahului 90^0 terhadap arus.
- Impedansi (Z) adalah gabungan tahanan R dengan induktor L atau gabungan R dengan Kapasitor C.
- Bilangan komplek adalah kumpulan titik yang dibentuk oleh bilangan nyata dan bilangan khayal, dalam bidang komplek $W = a + jb$
- Bilangan nyata dari komponen Resistor, bilangan khayal dari komponen induktor +j dan komponen Kapasitor –j.
- Dari bilangan komplek bisa ditransformasikan ke bilangan polar atau bilangan eksponensial, atau sebaliknya.
- Sudut diperoleh dari arc tg X/R
- Bilangan polar memiliki besaran dan menyatakan sudut arah

- Bilangan eksponensial memiliki besaran dan eksponensial dengan bilangan pangkat menyatakan arah sudut.
- Rangkaian seri Resistor dan Induktor dengan sumber listrik AC akan terjadi drop tegangan pada masing-masing, dan terjadi pergeseran phasa kedua tegangan sebesar 90^0
- Ada pergeseran sudut phasa antara tegangan dan arus sebesar ij.
- Rangkaian paralel Resistor dan induktor dengan sumber tegangan AC menghasilkan cabang arus Resistor IW sebagai referensi, arus cabang induktor berbeda sudut phasa sebesar 90^0 terhadap arus IW, arus total merupakan penjumlahan arus cabang Resistor dan arus cabang induktor.
- Beban impedansi arus bolak balik memiliki tiga jenis daya, yaitu daya semu satuan Volt-amper, daya aktif dengan satuan Watt, dan daya reaktif dengan satuan Volt-amper-reaktif.
- Daya aktif dinyatakan dengan satuan watt, pada beban resistif daya aktif merupakan daya nyata yang diubah menjadi panas.
- Pada beban impedansi daya nyata hasil kali tegangan dan arus dan faktor kerja ($\cos \varphi$).
- Pada beban dimana pergeseran phasa tegangan dan arus sebesar 90^0 ,maka daya aktif akan menjadi nol.
- Daya semu dinyatakan dengan satuan Volt-amper, menyatakan kapasitas peralatan listrik. Pada peralatan generator dan transformator kapasitas dinyatakan dengan daya semu atau KVA.
- Segitiga daya menyatakan komponen daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S). Resistor seri induktor diberi tegangan

AC, berbeda dalam menggambarkan segitiga daya dengan beban Resistor paralel dengan induktor.

- Faktor kerja menggambarkan sudut phasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor kerja yang rendah merugikan mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor kerja menggunakan Kapasitor

- Rangkaian Resistor paralel Kapasitor, memiliki dua cabang arus. Pertama cabang arus Resistor menjadi referensi dan kedua cabang arus Kapasitor mendahului tegangan sebesar 90^0 . Arus total sebagai penjumlahan vektor cabang arus Resistor dan cabang arus Kapasitor.



12.4 Tugas

1) Carilah aplikasi rangkaian Listrik /elektronik yang mengunakan R dan C dan kegunaannya rangkaian tersebut.
2) Carilah aplikasi rangkaian Listrik /elektronik yang mengunakan R dan L dan kegunaannya rangkaian tersebut.
3) Carilah aplikasi rangkaian Listrik /elektronik yang mengunakan L dan C dan kegunaannya rangkaian tersebut.
4) Carilah aplikasi rangkaian Listrik /elektronik yang mengunakan R, L dan C dan kegunaannya rangkaian tersebut.
5) Carilah informasi mengenai perbaikan faktor daya dan cara menentukan dan memperbaiki faktor daya tersebut.

12.5 Tes Formatif

1) Frekuensi Genset diketahui f = 55 Hz, hitung besarnya periode.
2) Frekuensi radio Elshinta FM 89.8 Mhz, hitung panjang gelombangnya.
3) Gelombang sinusoida bervariasi dari 0 hingga 10 Volt (maksimum).

   Hitung besarnya tegangan sesaat pada sudut 30^0, 45^0, 90^0, 270^0 dari satu periode ?
4) Tegangan bolak balik memiliki tegangan maksimum 10 Volt. Hitung besarnya tegangan rata-rata dalam satu periode ?
5) Tegangan bolak balik sebesar 20 V berbentuk gelombang sinusoida, hitung besarnya tegangan maksimum, tegangan maksimum ke maksimum.
6) Kapasitor 0,1 ɜF, dihubungkan dengan sumber listrik AC frekuensi 50 Hz. Hitung nilai reaktansi kapasitifnya.
7) Induktor murni sebesar 1 H, dihubungkan dengan sumber tegangan AC 100 sin 314t. Tentukan besarnya arus sesaat .
8) Sumber tegangan bolak-balik 10 V, dirangkaikan dengan beban impedansi Z dan menarik arus 50 mA. Hitung besarnya impedansi.
9) Sebuah impedansi dituliskan bilangan komplek Z = (8 + j6)Ÿ, tuliskan dalam bentuk polar.



10) Dua buah impedansi Z1 = (4+j5)ö dan Z2 = (4–j8) dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik,. Hitung a) besarnya nilai impedansi masing-masing b) jika keduanya dihubungkan seri hitung impedansi total c) jika keduanya dihubungkan paralel hitung impedansi totalnya.

11) Rangkaian gambar 3-22 Resistor R = 10 kŸ, diberikan tegangan AC 12 V dipasang Ampermeter dan terukur 4,8 mA. Hitung besarnya impedansi Z, besarnya induktor XL dan drop tegangan pada Resistor UW dan drop tegangan induktor UBL ?.

12) Beban induktif dihubungkan dengan tegangan AC 220 V, menarik arus 1,0 A dan terukur faktor kerja 0,85. Hitung Daya semu, daya aktif dan daya reaktif.

13) 10 buah lampu pijar dengan tegangan 40W/220V, digabungkan dengan 10 buah lampu TL 18 W/220V. Faktor kerja terukur sebesar cos φ = 0,5. Hitunglah daya semu dari beban dan besarnya arus I1 sebelum kompensasi, Jika diinginkan faktor kerja menjadi cos φ=0,85 hitung besarnya arus I2 (setelah kompensasi).

14) Rangkaian seri R, XL dan XC terukur tegangan drop Uw =15 V,UbL = 25 V, UbC = 15 V Hitunglah besarnya tegangan suply U ?

15) Rangkaian seri R= 100Ÿ, induktor L = 1H, dan Kapasitor C = 10µF, dihubungkan dengan sumber tegangan AC, frekuensi = 50 Hz. Hitung besarnya impedansi Z ?

16) Rangkaian paralel dari reaktansi induktor XL=100 Ÿ, reaktansi Kapasitor XC= 120 Ÿ, Resistor R=500 Ÿ, dihubungkan dengan sumber tegangan AC 100 V. Hitunglah besarnya arus cabang, dan besar arus total.

17) Induktor L= 0,1H dirangkai paralel dengan Kapasitor C = 12 nF. Hitunglah a) besarnya frekuensi resonansi. b). jika frekuensi ditetapkan 50 Hz, induktor L= 0,1H, hitung besarnya nilai Kapasitor agar terjadi kondisi resonansi ?



12.6 Jawaban Tes Formatif

1) Frekuensi Genset diketahui f = 55 Hz, hitung besarnya periode.

2) Frekuensi radio Elshinta FM 89.8 Mhz, hitung panjang gelombangnya.

3) Gelombang sinusoida bervariasi dari 0 hingga 10 Volt (maksimum).

   Hitung besarnya tegangan sesaat pada sudut 30^0, 45^0, 90^0, 270^0 dari satu periode ?

4) Tegangan bolak balik memiliki tegangan maksimum 10 Volt. Hitung besarnya tegangan rata-rata dalam satu periode ?

5) Tegangan bolak balik sebesar 20 V berbentuk gelombang sinusoida, hitung besarnya tegangan maksimum, tegangan maksimum ke maksimum.

6) Kapasitor 0,1 ȝF, dihubungkan dengan sumber listrik AC frekuensi 50 Hz. Hitung nilai reaktansi kapasitifnya.

7) Induktor murni sebesar 1 H, dihubungkan dengan sumber tegangan AC 100 sin 314t. Tentukan besarnya arus sesaat .

8) Sumber tegangan bolak-balik 10 V, dirangkaikan dengan beban impedansi Z dan menarik arus 50 mA. Hitung besarnya impedansi.

9) Sebuah impedansi dituliskan bilangan komplek Z = (8 + j6)Ÿ, tuliskan dalam bentuk polar.

10) Dua buah impedansi Z1 = (4+j5)ò dan Z2 = (4–j8) dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik,. Hitung a) besarnya nilai impedansi masing-masing b) jika keduanya dihubungkan seri hitung impedansi total c) jika keduanya dihubungkan paralel hitung impedansi totalnya.

11) Rangkaian gambar 3-22 Resistor R = 10 kŸ, diberikan tegangan AC 12 V dipasang Ampermeter dan terukur 4,8 mA. Hitung besarnya impedansi Z, besarnya induktor XL dan drop tegangan pada Resistor UW dan drop tegangan induktor UBL ?.

12) Beban induktif dihubungkan dengan tegangan AC 220 V, menarik arus 1,0 A dan terukur faktor kerja 0,85. Hitung Daya semu, daya aktif dan daya reaktif.



13) 10 buah lampu pijar dengan tegangan 40W/220V, digabungkan dengan 10 buah lampu TL 18 W/220V. Faktor kerja terukur sebesar cos φ = 0,5. Hitunglah daya semu dari beban dan besarnya arus I1 sebelum kompensasi, Jika diinginkan faktor kerja menjadi cos φ=0,85 hitung besarnya arus I2 (setelah kompensasi).

14) Rangkaian seri R, XL dan XC terukur tegangan drop Uw =15 V,UbL = 25 V, UbC = 15 V Hitunglah besarnya tegangan suply U ?

15) Rangkaian seri R= 100Ÿ, induktor L = 1H, dan Kapasitor C = 10μF, dihubungkan dengan sumber tegangan AC, frekuensi = 50 Hz. Hitung besarnya impedansi Z ?

16) Rangkaian paralel dari reaktansi induktor XL=100 Ÿ, reaktansi Kapasitor XC= 120 Ÿ, Resistor R=500 Ÿ, dihubungkan dengan sumber tegangan AC 100 V. Hitunglah besarnya arus cabang, dan besar arus total.

17) Induktor L= 0,1H dirangkai paralel dengan Kapasitor C = 12 nF. Hitunglah a) besarnya frekuensi resonansi. b). jika frekuensi ditetapkan 50 Hz, induktor L= 0,1H, hitung besarnya nilai Kapasitor agar terjadi kondisi resonansi ?



12.7 Lembar Kerja

Bagian 1 (Rangkaian seri R dan C)

Tujuan Praktek

Setelah melakukan praktek diharapkan peserta didik dapat

- ✓ Merangkai hubungan seri antara resistor dan kapasitor
- ✓ Melakukan pengukuran dengan Oscilloscope besarnya tegangan yang ada pada C dan pada resistor
- ✓ Mengukur beda fasa antara tegangan di resistor dan di kapasitor
- ✓ Membuat vektor tegangan antara UR dan UC
- ✓ Menjelaskan pengaruh perubahan frekwensi terhadap besarnya tegangan drop pada kapasitor
- ✓ Menyimpulkan hasil praktek

Alat dan Bahan

- ✓ Bread Board
- ✓ Resistor 10 kΩ
- ✓ Kapasitor 100nF
- ✓ Function generator
- ✓ Oscilloscope Dua kanal
- ✓ Kabel Jumper 0,5 mm
- ✓ Kabel konektor dari power supply ke breadboard

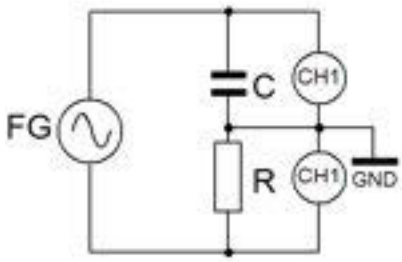
Keselamatan Kerja:

- ✓ Jangan menghidupkan Oscilloscope dan Function Generator terlebih dahulu sebelum rangkaian siap
- ✓ Tunjukkan ke Guru, Instruktor sebelum memulai pengamatan dan pengukuran

Langkah Kerja:

- ✓ Buatlah rangkaian seperti bibawah ini, rangkaian seri antara Resistor dan Kapasitor
- ✓ Sambungkan GND oscilloscope dengan titik tengan pertemuan antara R dan C
- ✓ Atur Time/ Div sehingga gambar yang ditampilkan terdapat 1 sampai 3 gelombang

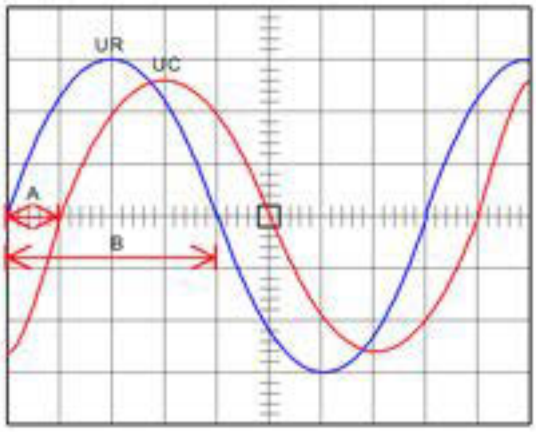
- ✓ Pada CH2 atur penampilan pada mode INVERS ini dilakukan karena pengukuran yang dilakukan pada UR polaritasnya di balik
- ✓ Pastikan bahwa kedua kanal referensi tepat berada ditengah, pada garis yang sama
- ✓ Isilah tabel yang tersedia untuk mengetahui pengaruh frekwensi terhadap nilai UC
- ✓ Beda Fasa dapat di cari dengan rumus $\varphi = A/B \times 180^0$
- ✓ Diluar frekwensi yang ada pada tebel dibawah, aturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UC dan UR besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan mengaturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UR > UC besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan mengaturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UR < UC besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia



Gambar percobaan 1

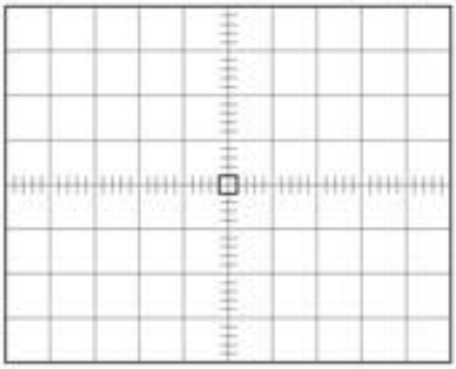
No	Frekwensi FG (Hz)	Uc (CH1)	UR (CH2)	Beda Fasa
1	100			
2	500			
3	1.000			
4	2.000			
5	3.000			
6	4.000			
7	5.000			
8	6.000			

9	8.000
10	10.000

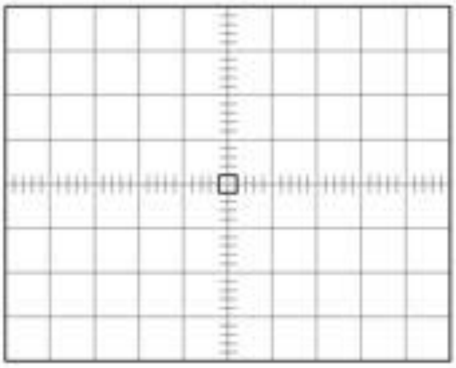


Gambar 2 cara mencari beda Fasa

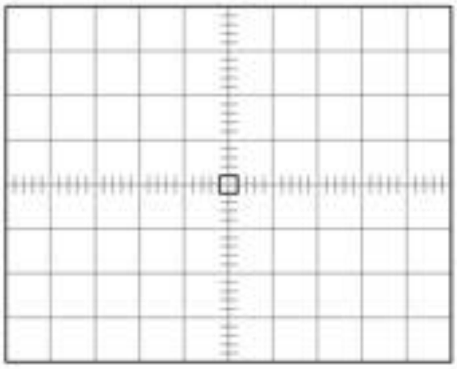
Contoh dari gambar diatas panjang A = 1 kolom, dan B = 4 kolom , jadi beda fasa = ¼ x 180^0 = 45^0



Gambar disaat UR = UC



Gambar disaat UR > UC



Gambar disaat UR > UC

Pertanyaan:

1) Apakah pengaruh perubahan frekwensi terhadap tegangan pada Uc?
2) Bagaimanakah pengaruh frekwensi terhadapa nilai Xc?
3) Pada frekwensi berapakah besarnya UR = UR mengapa bisa terjadi demikian?

KESIMPULAN:

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

Bagian 2 (Rangkaian seri R dan L)

Tujuan Praktek

Setelah melakukan praktek diharapkan peserta didik dapat

- ✓ Merangkai hubungan seri antara resistor dan induktor
- ✓ Melakukan pengukuran dengan Oscilloscope besarnya tegangan yang ada pada C dan pada L
- ✓ Mengukur beda fasa antara tegangan di resistor dan di Induktor
- ✓ Membuat vektor tegangan antara UR dan UL
- ✓ Menjelaskan pengaruh perubahan frekwensi terhadap besarnya tegangan drop pada Induktor
- ✓ Menyimpulkan hasil praktek

Alat dan Bahan

- ✓ Bread Board
- ✓ Resistor 1 kΩ
- ✓ Induktor 1H
- ✓ Function generator
- ✓ Oscilloscope Dua kanal
- ✓ Kabel Jumper 0,5 mm
- ✓ Kabel konektor dari power supply ke breadboard

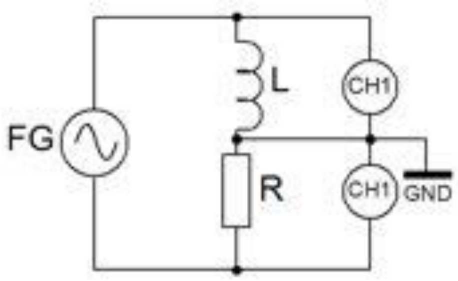
Keselamatan Kerja:

- ✓ Jangan menghidupkan Oscilloscope dan Function Generator terlebih dahulu sebelum rangkaian siap
- ✓ Tunjukkan ke Guru, Instruktor sebelum memulai pengamatan dan pengukuran

Langkah Kerja:

- ✓ Buatlah rangkaian seperti bibawah ini, rangkaian seri antara Resistor dan Induktor
- ✓ Sambungkan GND oscilloscope dengan titik tengan pertemuan antara L dan C
- ✓ Atur Time/ Div sehingga gambar yang ditampilkan terdapat 1 sampai 3 gelombang
- ✓ Pada CH2 atur penampilan pada mode INVERS ini dilakukan karena pengukuran yang dilakukan pada UL polaritasnya di balik

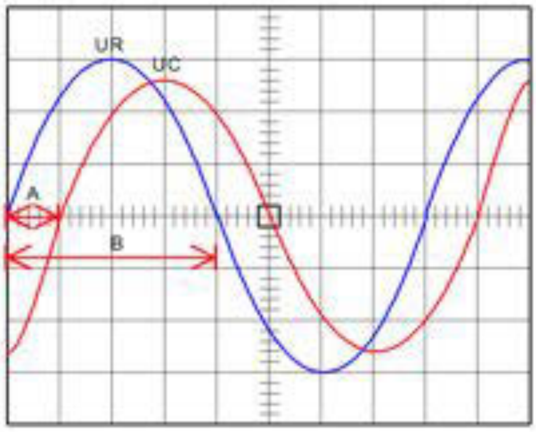
- ✓ Pastikan bahwa kedua kanal referensi tepat berada ditengah, pada garis yang sama
- ✓ Isilah tabel yang tersedia untuk mengetahui pengaruh frekwensi terhadap nilai UL
- ✓ Beda Fasa dapat di cari dengan rumus φ = A/B x180^0
- ✓ Diluar frekwensi yang ada pada tebel dibawah, aturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UL dan UR besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan mengaturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UL > UR besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan mengaturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UL > UR besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia



Gambar percobaan 2

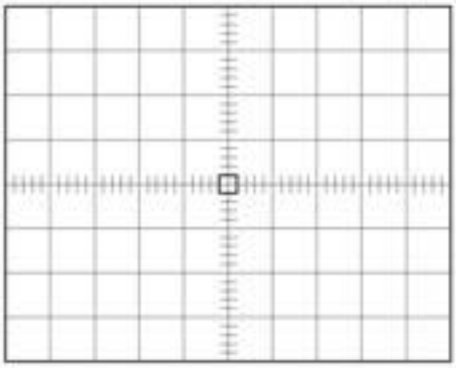
No	Frekwensi FG (Hz)	UL (CH1)	UR (CH2)	Beda Fasa
1	100			
2	500			
3	1.000			
4	2.000			
5	3.000			
6	4.000			
7	5.000			
8	6.000			
9	8.000			

10 10.000

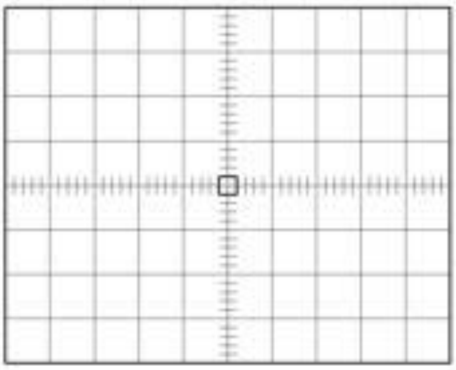


Gambar 2 cara mencari beda Fasa

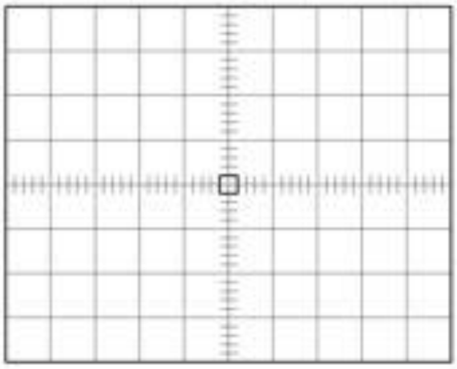
Contoh dari gambar diatas panjang A = 1 kolom, dan B = 4 kolom , jadi beda fasa = ¼ x 180^0 = 45^0



Gambar disaat UL = UC



Gambar disaat UL > UC



Gambar disaat UL > UC

Pertanyaan:

4) Apakah pengaruh perubahan frekwensi terhadap tegangan pada UL?
5) Bagaimanakah pengaruh frekwensi terhadapa nilai XL?
6) Pada frekwensi berapakah besarnya UL = UR mengapa bisa terjadi demikian?

KESIMPULAN:

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

Bagian 3 (Rangkaian seri L dan C)

Tujuan Praktek

Setelah melakukan praktek diharapkan peserta didik dapat

- ✓ Merangkai hubungan seri antara resistor dan induktor
- ✓ Melakukan pengukuran dengan Oscilloscope besarnya tegangan yang ada pada C dan pada L
- ✓ Mengukur beda fasa antara tegangan di resistor dan di Induktor
- ✓ Membuat vektor tegangan antara UC dan UL
- ✓ Menjelaskan pengaruh perubahan frekwensi terhadap besarnya tegangan drop pada Induktor
- ✓ Menyimpulkan hasil praktek

Alat dan Bahan

- ✓ Bread Board
- ✓ Kapasitor 0,1 μF
- ✓ Induktor 1H
- ✓ Function generator
- ✓ Oscilloscope Dua kanal
- ✓ Kabel Jumper 0,5 mm
- ✓ Kabel konektor dari power supply ke breadboard

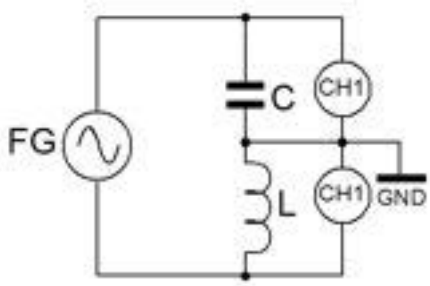
Keselamatan Kerja:

- ✓ Jangan menghidupkan Oscilloscope dan Function Generator terlebih dahulu sebelum rangkaian siap
- ✓ Tunjukkan ke Guru, Instruktor sebelum memulai pengamatan dan pengukuran

Langkah Kerja:

- ✓ Buatlah rangkaian seperti bibawah ini, rangkaian seri antara Resistor dan Induktor
- ✓ Sambungkan GND oscilloscope dengan titik tengan pertemuan antara L dan C
- ✓ Atur Time/ Div sehingga gambar yang ditampilkan terdapat 1 sampai 3 gelombang
- ✓ Pada CH2 atur penampilan pada mode INVERS ini dilakukan karena pengukuran yang dilakukan pada UL polaritasnya di balik

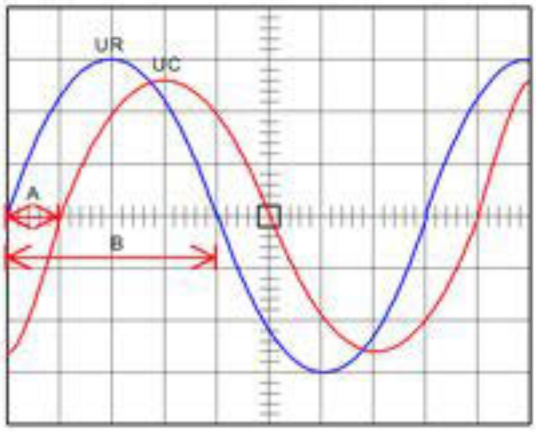
- ✓ Pastikan bahwa kedua kanal referensi tepat berada ditengah, pada garis yang sama
- ✓ Isilah tabel yang tersedia untuk mengetahui pengaruh frekwensi terhadap nilai UL
- ✓ Beda Fasa dapat di cari dengan rumus φ = A/B x180^0
- ✓ Diluar frekwensi yang ada pada tebel dibawah, aturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UL dan UR besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan mengaturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UL > UC besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia
- ✓ Ulangi langkah diatas dengan mengaturlah frekwensi yang menyebabkan ke dua tegangan UL < UC besarnya sama dan gambarkan pada Gambar yang tersedia



Gambar percobaan 3

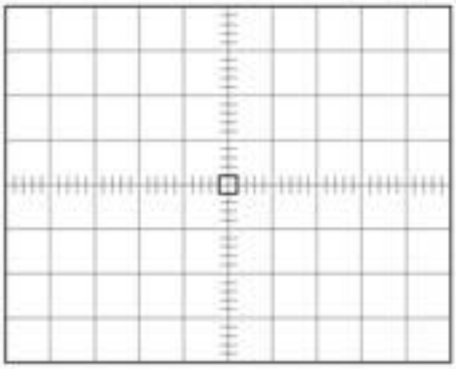
No	Frekwensi FG (Hz)	UL (CH1)	UR (CH2)	Beda Fasa
1	100			
2	500			
3	1.000			
4	2.000			
5	3.000			
6	4.000			
7	5.000			
8	6.000			

9	8.000
10	10.000

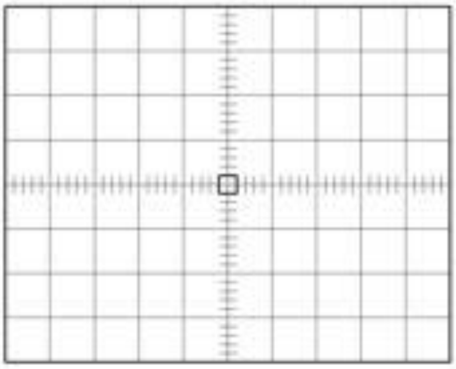


Gambar 2 cara mencari beda Fasa

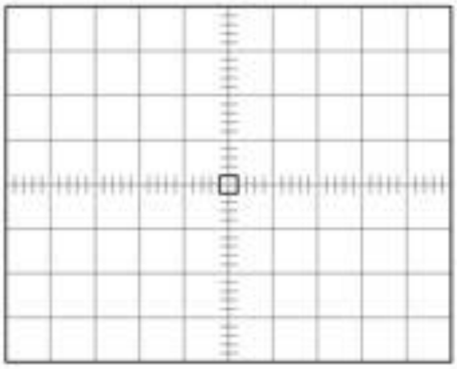
Contoh dari gambar diatas panjang A = 1 kolom, dan B = 4 kolom , jadi beda fasa = ¼ x 180^0 = 45^0



Gambar disaat UL = UC



Gambar disaat UL > UC



Gambar disaat UL > UC

Pertanyaan:

7) Apakah pengaruh perubahan frekwensi terhadap tegangan pada UL?
8) Apakah pengaruh perubahan frekwensi terhadap tegangan pada UC?
9) Bagaimanakah pengaruh frekwensi terhadapa nilai XC?
10) Bagaimanakah pengaruh frekwensi terhadapa nilai XL?
11) Pada frekwensi berapakah besarnya UL = UC mengapa bisa terjadi demikian?

KESIMPULAN:

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....



Simbol-simbol Gambar Listrik

Lambang Huruf Untuk Instrumen Ukur

No.	Lambang	Keterangan
1	A	ampere
2	V	volt
3	VA	voltampere
4	Var	var
5	W	watt
6	Wh	watt-jam
7	Vah	voltampere-jam
8	varh	var-jam
9	Ω	ohm
10	Hz	hertz
11	h	jam
12	min	menit
13	s	detik
14	n	jumlah putaran premenit
15	cos	

Awal Pada Satuan SI

No.	Lambang	Keterangan
1	T	tera = 1 0^{12}
2	G	giga = 1 0^{9}
3	M	mega = 1
4	K	0^{6} kilo = 1 0^{3}
5	m	mili = 1 0^{3}
6	μ	mikro = 1 0^{6}



Daftar Pustaka

1) Siswoyo, Teknik Listrik Industri Jilid 1, Bahan Ajar BSE, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan , Tahun 2008

2) A R Bean, Lighting Fittings Performance and Design, Pergamou Press, Braunschweig, 1968

3) A.R. van C. Warrington, Protective Relays, 3^{rd} Edition, Chapman and Hall, 1977

4) Daschler, Elektrotechnik, Verlag – AG, Aaraw, 1982

5) A.S. Pabla, Sistem Distribusi Daya Listrik, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994

6) Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 2000

7) Abdul Kadir, Pengantar Teknik Tenaga Listrik, LP3ES, 1993

8) Aly S. Dadras, Electrical Systems for Architects, McGraw-Hill, USA, 1995

9) Badan Standarisasi Nasional SNI 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, Yayasan PUIL, Jakarta, 2000

10) Bambang, Soepatah., Soeparno, Reparasi Listrik 1, DEPDIKBUD Dikmenjur, 1980.

11) Benyamin Stein cs, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 7^{th} Edition Volume II, John Wiley & Sons, Canada, 1986

12) Bernhard Boehle cs, Switchgear Manual 8^{th} edition, 1988

13) Brian Scaddam, The IEE Wiring Regulations Explained and Illustrated, 2^{nd} Edition, Clags Ltd., England, 1994

14) Brian Scaddan, Instalasi Listrik Rumah Tangga, Penerbit Erlangga, 2003

15) By Terrell Croft cs, American Electrician's Handbook, 9^{th} Edition,

McGraw-Hill, USA, 1970

16) Catalog, Armatur dan Komponen, Philips, 1996

17) Catalog, Philips Lighting.

18) Catalog, Sprecher+Schuh Verkauf AG Auswahl, Schweiz, 1990

19) Cathey, Jimmie .J, Electrical Machines : Analysis and Design Applying Matlab, McGraw-Hill,Singapore,2001

20) Chang,T.C,Dr, Programmable Logic Controller,School of Industrial Engineering Purdue University

21) Diesel Emergensi, Materi kursus Teknisi Turbin/Mesin PLTA Modul II, PT PLN Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta 1995.

22) Philippow, Taschenbuch Elektrotechnik, VEB Verlag Technik, Berlin, 1968

23) Edwin B. Kurtz, The Lineman's and Cableman's Handbook, 7th Edition, R. R. Dournelley & Sons, USA, 1986

24) Eko Putra,Agfianto, PLC Konsep Pemrograman dan Aplikasi (Omron CPM1A /CPM2A dan ZEN Programmable Relay). Gava Media : Yogyakarta

25) W. Ernst, Arbeitsblatter zur Elektrotechnik mit SI - Einheiten, Aarau und Frankfurt am Main, Sauerlander, 1982.

26) Fachkunde Informationselektronik, Wuppertal, Europa - Lehrmittel, 1984.

27) BL. Theraja, Fundamental of Electrical Engineering anda Elektronik, New Delhi, 1978.

28) Heinz Meister, Elektronik 1 Elektrotechnische Grundlagen, Wurzburg, VogelBuchberlag, 1986.

29) MA / YS Lesson Plan 52520801 PPPGT Malang 1990.